

Ganganalytische Untersuchung der Rückenbewegung  
chondrodystropher Rassen nach Hemilaminektomie im Vergleich zu  
einer gesunden Kontrollgruppe

von Sarah Balmer

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde  
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität  
München

Ganganalytische Untersuchung der Rückenbewegung  
chondrodystropher Rassen nach Hemilaminektomie im Vergleich zu  
einer gesunden Kontrollgruppe

von Sarah Balmer

aus Ulm-Söflingen

München 2017

Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Chirurgische und Gynäkologische Kleintierklinik

Arbeit angefertigt unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr. Andrea Meyer-Lindenberg

Mitbetreuung durch: Dr. Stephanie Steigmeier-Raith

**Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

**Dekan:** Univ.-Prof. Dr. Joachim Braun

**Berichterstatter:** Univ.-Prof. Dr. Andrea Meyer-Lindenberg

**Korreferent/en:** Univ.-Prof. Dr. Johann Maierl

**Tag der Promotion: 11. Februar 2017**

## **Meiner Familie**

*Wenn Du mit den Tieren sprichst, werden sie mit Dir sprechen, und Ihr werdet Euch kennenlernen. Wenn Du nicht mit ihnen sprichst, dann werdet Ihr Euch nie kennenlernen. Was Du nicht kennst, wirst Du fürchten. Was Du fürchtest, zerstörst Du.*

***Zitat des Häuptling Dan George aus dem Buch „Calming Signals“***

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>I.</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT .....</b>	<b>2</b>
<b>1.</b>	<b>Die Anatomie der Wirbelsäule des Hundes .....</b>	<b>2</b>
1.1.	Das knöcherne Grundgerüst .....	2
1.2.	Umgebende Muskelsysteme.....	3
1.3.	Bandstrukturen .....	5
1.4.	Aufbau der Bandscheibe .....	5
1.4.1.	Der Anulus fibrosus .....	6
1.4.2.	Der Nucleus pulposus.....	7
1.4.3.	Die Endplatte.....	7
1.5.	Die Wirbelsäule und die Bandscheibe als Funktionseinheit .....	7
<b>2.</b>	<b>Bandscheibenerkrankungen beim Hund .....</b>	<b>9</b>
2.1.	Vorkommen und Typen .....	9
2.2.	Pathogenese von Bandscheibenerkrankungen .....	10
2.3.	Rasseprädisposition Dackel.....	12
<b>3.</b>	<b>Therapie von Bandscheibenvorfällen .....</b>	<b>14</b>
<b>4.</b>	<b>Ganganalyse.....</b>	<b>17</b>
4.1.	Ablauf des Ganges .....	18
4.2.	Kinetik.....	19
4.3.	Kinematik .....	21
4.4.	Gangbildanalyse der Rückenbewegung .....	22
<b>III.</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>24</b>
<b>1.</b>	<b>Patientenauswahl.....</b>	<b>24</b>
1.1.	Signalement und Anamnese .....	24
1.2.	Klinische Untersuchung .....	25
1.3.	Röntgenologische Untersuchung.....	25
<b>2.</b>	<b>Ganganalytische Untersuchung .....</b>	<b>26</b>
2.1.	Das Ganglabor .....	26
2.2.	Durchführung .....	27
2.2.1	Gewöhnung des Patienten .....	27

2.2.2	Positionierung der Marker .....	27
2.2.3	Untersuchungsgang .....	29
2.3.	Datenverarbeitung und statistische Auswertung .....	30
<b>IV.</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>33</b>
<b>1.</b>	<b>Patientengut .....</b>	<b>33</b>
<b>2.</b>	<b>Kinetik .....</b>	<b>36</b>
2.1.	Zeitliche Parameter .....	36
2.2.	Kräfte (PVF, VI, prozentuale Gewichtsverteilung) .....	40
<b>3.</b>	<b>Kinematik.....</b>	<b>48</b>
3.1.	Transversalebene .....	48
3.1.1.	Qualitative Beschreibung der transversalen Rückenbewegung .....	48
3.1.1.1.	Schritt .....	48
3.1.1.1.1.	Einphasige Rückenbewegung .....	48
3.1.1.1.2.	Dreiphasige Rückenbewegung .....	53
3.1.1.2.	Trab .....	61
3.1.2.	Quantitative Beschreibung der transversalen Rückenbewegung .....	63
3.1.2.1.	Gruppe 1 (gesund), Gangartenvergleich .....	63
3.1.2.2.	Gruppe 2 (krank), Gangartenvergleich.....	67
3.1.2.3.	Gruppenvergleich .....	71
3.2.	Sagittalebene .....	82
3.2.1.	Qualitative Beschreibung der Rückenbewegung .....	82
3.2.1.1.	Schritt .....	82
3.2.1.2.	Trab .....	88
3.2.2.	Quantitative Beschreibung der Rückenbewegung .....	89
3.2.2.1.	Gruppe 1 (gesund), Gangartenvergleich .....	89
3.2.2.2.	Gruppe 2 (krank), Gangartenvergleich.....	93
3.2.2.3.	Gruppenvergleich .....	97
<b>V.</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>107</b>
<b>1.</b>	<b>Patientengut .....</b>	<b>107</b>
<b>2.</b>	<b>Kinetik .....</b>	<b>108</b>
<b>3.</b>	<b>Kinematik.....</b>	<b>111</b>
3.1.	Transversalebene .....	111

---

3.1.1.	Qualitative Beschreibung der transversalen Rückenbewegung .....	111
3.1.2.	Quantitative Beschreibung der transversalen Rückenbewegung .....	113
3.2.	Sagittalebene .....	117
3.2.1.	Qualitative Beschreibung der sagittalen Rückenbewegung .....	117
3.2.2.	Quantitative Beschreibung der sagittalen Rückenbewegung .....	118
<b>VI.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>121</b>
<b>VII.</b>	<b>SUMMARY.....</b>	<b>123</b>
<b>VIII.</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>124</b>
<b>IX.</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>127</b>
<b>X.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>130</b>
<b>XI.</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>147</b>
<b>XII.</b>	<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>165</b>



**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

ABS	Betrag
Art., Artt.	Articulatio, Articulationes
Bzw.	Beziehungsweise
BWS	Brustwirbelsäule
BSV	Bandscheibenvorfall
cm	Zentimeter
HWS	Halswirbelsäule
JRT	Jack Russel Terrier
KFZ	Kapilläre Rückfüllungszeit
kg	Kilogramm
KGW	Körpergewicht
KR	Kruppenlänge
L	Lendenwirbel
LHD	Langhaardackel
Lig., Ligg.	Ligamentum, Ligamenta
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität
LWS	Lendenwirbelsäule
m, mk	Männlich, männlich kastriert
M., Mm.	Musculus, Musculi
Max	Maximum
Min	Minimum
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
MW	Mittelwert
OP	Operation
Proc., Procc.	Processus, Processus
PVF	Peak vertical force
RHD	Rauhhaardackel
RL	Rückenlänge
RL/KR	Verhältnis Rückenlänge zu Kruppenhöhe
RL/WR	Verhältnis Rückenlänge zu Widerristhöhe
ROM	Range of Motion
S	Sakrum
SD	Standardabweichung
SI	Symmetrie-Index
Th	Thorakalwirbel
TOO	Time of Occurence
VI	Vertikaler Impuls

---

vs	Versus
w, wk	weiblich, weiblich kastriert
WR	Widerristhöhe
ZD	Zwergdackel

## **I. EINLEITUNG**

Der Bandscheibenvorfall beim Hund ist die häufigste Ursache eines neurologischen Traumas im Bereich der Wirbelsäule (Hoerlein 1978a). Bereits 1881 wurde der erste Fallbericht über einen Dackel mit Diskopathie veröffentlicht (Hansen 1951). In der Humanmedizin fand bereits 1824 die erste Beschreibung eines Bandscheibenvorfalles statt (Bell 1931). In den darauffolgenden Jahren fanden eingehende Untersuchungen und Studien unter anderem über die Pathogenese von Bandscheibenvorfällen und die Prädisposition chondrodystropher Rassen statt (Ghosh et al. 1976b, Hansen 1951, Hansen 1952, Hoerlein 1953, J. P. Bray und Burbidge 1998, Gough und Thomas 2009). Die Ganganalyse als objektive Untersuchungsmethode des Therapieerfolges hat ganz allgemein in den letzten Jahren in der Tiermedizin stark an Bedeutung gewonnen (Off und Matis 1997b, Gillette und Angle 2008). Kinetische und kinematische Daten der Gliedmaßen von gesunden und erkrankten Hunden wurden bereits ausführlich beschrieben (Bennett et al. 1996, Galindo-Zamora et al. 2014, Marsolais et al. 2003). Hinsichtlich der Rückenbewegung von Hunden gibt es in der zugänglichen Literatur bislang nur wenige In-vivo-Daten (Gradner et al. 2007, Layer 2012, Sutton et al. 2016). Insbesondere fehlen Daten zur Entwicklung der Rückenbewegung nach der Therapie eines Bandscheibenvorfalles.

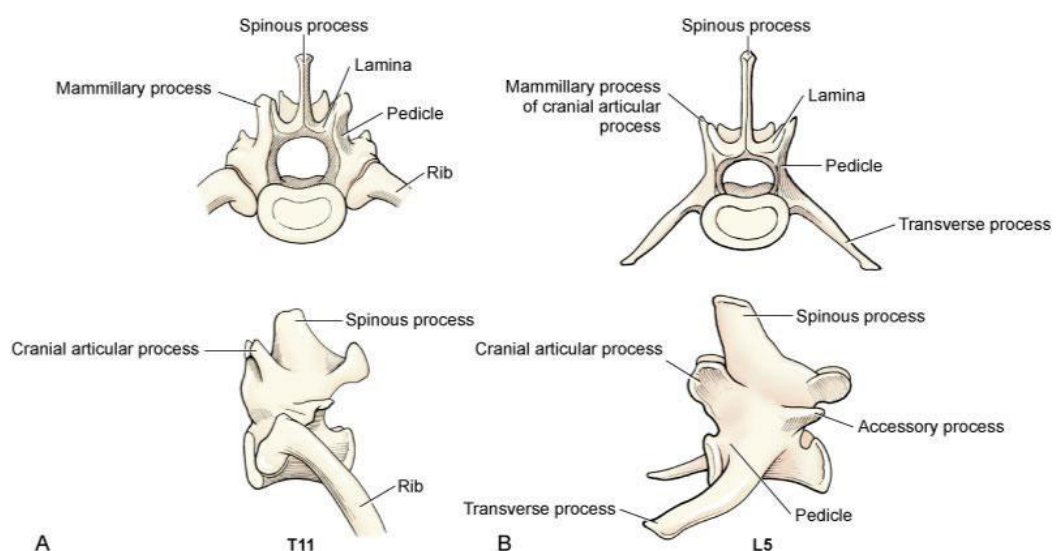
Das Ziel dieser Studie ist es, die Rückenbewegung gesunder und kranker Hunde chondrodystropher Rassen mittels einer objektiven Ganganalyse zu untersuchen und festzustellen, inwiefern operative Eingriffe zur Therapie eines Bandscheibenvorfalles die Bewegung des Rückens beeinflussen.

## II. LITERATURÜBERSICHT

### 1. Die Anatomie der Wirbelsäule des Hundes

#### 1.1. Das knöcherne Grundgerüst

Die Wirbelsäule des Hundes setzt sich zusammen aus 7 Halswirbeln, 13 Brustwirbeln, 7 Lendenwirbeln, 3 Kreuzwirbeln – die als einzige knöchern miteinander verschmolzen sind – und 20 Schwanzwirbel, deren Anzahl jedoch sowohl nach unten als auch nach oben variieren kann (Hansen 1951, Evans und De Lahunta 2012). Jeder Wirbel (mit Ausnahme der speziell geformten ersten beiden Halswirbel Atlas und Axis) setzt sich zusammen aus einem Wirbelkörper, einem Wirbelbogen und verschiedenen Fortsätzen – je nach Abschnitt der Wirbelsäule findet man Processus spinosi, transversarii, articularium, accessorii und mammarii (siehe Abb. 1). Die Wirbelsäule ist über die Art. atlanto-occipitalis und die Art. atlantoaxialis gelenkig mit dem Schädel verbunden. Die restlichen Wirbel kommunizieren im Bereich der Wirbelbögen über kraniale und kaudale Gelenkfortsätze (Artt. processus articularium) miteinander. Im Wirbelsäulenabschnitt zwischen dem zweiten Halswirbel und dem ersten Kreuzwirbel sowie zwischen allen Schwanzwirbeln findet sich darüber hinaus im Bereich der Wirbelkörper zwischen jedem Wirbel eine Zwischenwirbelscheibe, die Bandscheibe.



**Abb. 1: Schematische Darstellung des 11. Brustwirbels (T11) und des 5. Lendenwirbels (L5); aus Tobias (2012).**

## 1.2. Umgebende Muskelsysteme

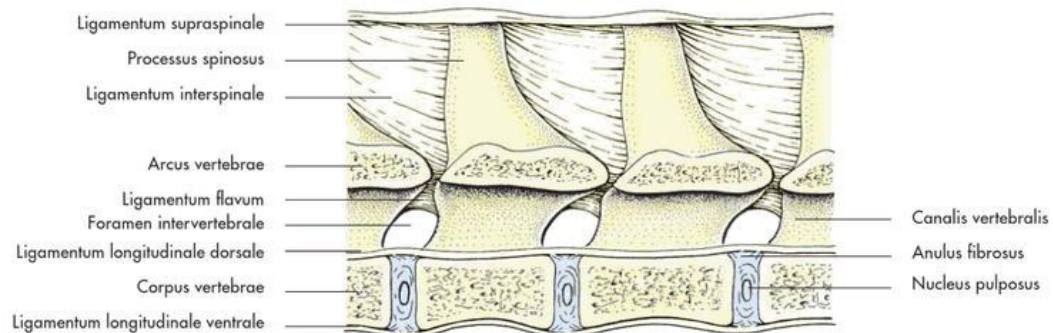
Das knöcherne Grundgerüst ist von verschiedenen Muskelgruppen umgeben, man unterscheidet die langen und kurzen Hals- und Rückenmuskeln (Evans und De Lahunta 2012, König und Liebich 2014) (siehe Tab. 1). Erstere lassen sich in ein laterales und ein mediales System unterteilen, letztere setzen sich zusammen aus den Mm. interspinales und Mm. intertransversarii. Das laterale System der langen Hals- und Rückenmuskeln umfasst die Mm. iliocostales, deren Funktion die Stabilisation der Wirbelsäule im Brust- und Lendenbereich und die Unterstützung der Vorwärtsbewegung beinhaltet, und den M. longissimus, der die Bewegungsabläufe der Hintergliedmaße auf den Rücken überträgt, die Wirbelsäule in der Vor- und Rückwärtsbewegung feststellt und ihrer Streckung dient. Das mediale System setzt sich aus dem M. spinalis und den Mm. transversospinales, die beide für die Hebung des Kopfes und die Seitwärtsbewegung von Kopf und Hals verantwortlich sind, sowie den Mm. multifidi und den Mm. rotatores, die der Feinabstimmung in den Bewegungsabläufen und den Rotationsbewegungen dienen, zusammen. Die zu den kurzen Hals- und Rückenmuskeln gehörigen Mm. interspinales verlaufen zwischen den jeweiligen Dornfortsätzen und unterstützen das Durchbiegen der Wirbelsäule. Die Mm. intertransversarii spannen sich zwischen den Querfortsätzen der Wirbelkörper auf und dienen der Feinabstimmung der Bewegung, zur Fixierung und Seitwärtsbewegung der Wirbelsäule.

**Tab. 1: Muskelsysteme der Wirbelsäule; aus König und Liebich (2014).**

<b>Lange Hals- und Rückenmuskeln</b>			
Laterales System			
<b>Name</b>	<b>Ursprung</b>	<b>Ansatz</b>	<b>Funktion</b>
M. iliocostalis lumborum	Crista iliaca, Procc. transversi Lendenwirbelsäule	Kaudalrand letzte Rippe	Feststellen von Lende und Rippe
M. iliocostalis thoracis	Proximales Ende des kranialen Rippenrandes	Kaudalrand der Rippen, Procc. transversi des letzten Halswirbels	Seitwärtsbewegen der Wirbelsäule
M. longissimus lumborum et thoracis	Procc. spinosi des Kreuzbeins, der Lenden- und Brustwirbel, Darmbein	Procc. Articulares, mamillares und transversi der Brustwirbelsäule, proximal an den Rippen	Feststellen und Strecken der Wirbelsäule, Aufrichten des Vorderkörpers
M. longissimus cervicis	Procc. transversi der ersten 5-8 Brustwirbel	Procc. transversi des 3.-7. Halswirbels	Heben und Seitwärtsbiegen des Halses
M. longissimus capitis et atlantis	Procc. transversi erste Brust- und letzte Halswirbel	Atlasflügel, Pars mastoidea Felsenbeinpyramide	Heben und Seitwärtsbiegen des Kopfes, Wenden des Kopfes
Mediales System			
<b>Name</b>	<b>Ursprung</b>	<b>Ansatz</b>	<b>Funktion</b>
M. spinalis thoracis et cervicis	Procc. spinosi ein oder mehrerer Wirbel		Feststellen von Rücken und Hals
M. spinalis et semispinalis thoracis et cervicis	Procc. spinosi, mamillares et transversi der ersten Lenden- und letzten Brustwirbel	Procc. spinosi 1.-6. Brustwirbel und 6.-7. Halswirbel	Feststeller und Strecker des Rückens, Heber des Halses, Seitwärtsbiegen von Rücken und Hals
M. semispinalis capitis	Procc. transversi des 5.-8. Brustwirbels, Procc. articulares des 2.-7. Halswirbels	Squama occipitalis	Heben und Seitwärtsbiegen des Kopfes
M. multifidus	Procc. articulares et mamillares vom 3. Halswirbel bis zum Kreuzbein	Procc. spinosi et articulares	Feststeller und Dreher der Wirbelsäule, Heber des Halses
Mm. rotatores	Procc. transversi	Procc. spinosi	Feststeller und Dreher der Wirbelsäule
<b>Kurze Hals- und Rückenmuskeln</b>			
<b>Name</b>	<b>Ursprung</b>	<b>Ansatz</b>	<b>Funktion</b>
Mm. interspinales	Procc. spinosi	Procc. spinosi	Feststellen und Biegen der Brust- und Lendenwirbel
Mm. intertransversarii	Procc. transversi et mamillares	Procc. transversi et articulares	Feststellen, Seitwärtsbiegen Hals- und Lendenwirbelsäule

### 1.3. Bandstrukturen

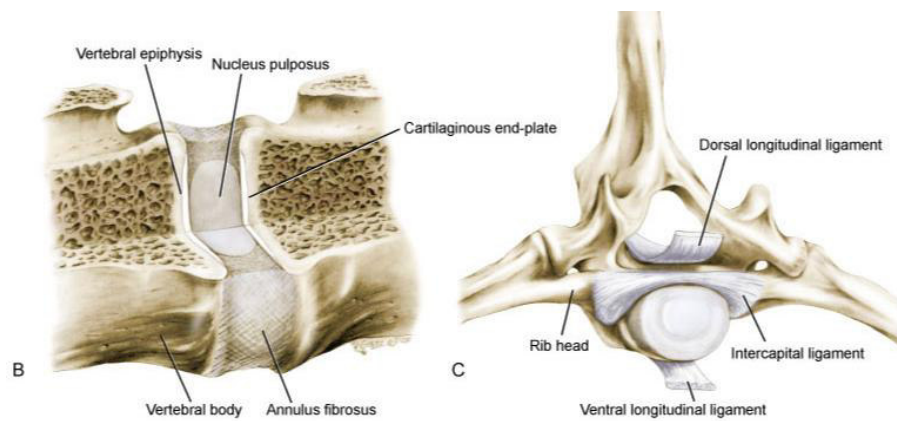
Unter den stabilisierenden Bandstrukturen der Wirbelsäule finden sich zum einen die kurzen Bänder – Ligg. flava, interspinalia und intertransversaria –, die benachbarte Wirbel miteinander verbinden und die langen Bänder – Ligg. longitudinale dorsale, longitudinale ventrale, nuchae und supraspinale –, welche die Wirbelsäule über längere Strecken hinweg zu einer funktionellen Einheit verbinden (König und Liebich 2014) (siehe Abb. 2).



**Abb. 2: Schematische Darstellung der Bandstrukturen der Wirbelsäule; aus König und Liebich (2014).**

### 1.4. Aufbau der Bandscheibe

Jede Bandscheibe setzt sich zusammen aus einem faserknorpeligen Ring, dem Anulus fibrosus, der den Gallertkern, den Nucleus pulposus, ringförmig umschließt (König und Liebich 2014) (siehe Abb. 3). Dorsal und ventral werden die Bandscheiben durch das Lig. longitudinale dorsale und das Lig. longitudinale ventrale begrenzt, teilweise gehen sie kontinuierlich in die Bandstrukturen über (J. P.; Burbidge Bray, H. M. 1998). Kranial und kaudal werden die Bandscheiben durch die Endplatten der Wirbelkörper begrenzt.



**Abb. 3: Schematische Darstellung der Bandscheibe und der umgebenden Bandstrukturen; aus Tobias (2012).**

#### 1.4.1. Der Anulus fibrosus

Der Anulus fibrosus besteht aus bindegewebigen Fasern, welche den Nucleus pulposus ringförmig umgeben (Marchand und Ahmed 1990). Mikroskopisch zeigt sich, dass die Fasern in Form von fibrocartilaginösen Lamellen in vielen parallelen Bündeln angeordnet sind (Inoue 1981). Jede lamelläre Schicht beginnt im Bereich der knorpeligen Endplatten und verläuft in der Peripherie nahezu parallel, im Zentrum an die Konvexität des Nucleus pulposus angepasst, zwischen zwei benachbarten Wirbeln (J. P.; Burbidge Bray, H. M. 1998). Laut Inoue (1981) besteht keine Verbindung zwischen den einzelnen lamellären Schichten, während Tondury (1953) die inneren Lamellen als miteinander verzahnt beschreibt. Etwa die Hälfte aller Lamellen verlaufen nicht als vollständiger Ring um den Nucleus pulposus. Vor allem im dorsolateralen Bereich erscheinen sie am häufigsten in ihrer Ringstruktur unterbrochen (Marchand und Ahmed 1990). In der cervicalen und lumbalen Region der Wirbelsäule ebenso wie am thorakolumbalen Übergang kommt der Nucleus pulposus dadurch mehr dorsolateral im Anulus fibrosus zu liegen (Evans und De Lahunta 2012). Dadurch ist der Anulus fibrosus in diesen Bereichen ventral zwei- bis dreimal so dick wie dorsal. Der Anulus fibrosus besteht neben einigen elastischen Fasern und Nervenendigungen zu 70 % aus Kollagen (Ghosh et al. 1977a). Hierbei findet sich vorrangig Kollagen Typ I, zum Zentrum hin lässt sich ein leichter Anstieg der Menge an Kollagen Typ II feststellen. Nervenendigungen finden sich lediglich in den äußeren Bereichen des Anulus fibrosus (J. P.; Burbidge Bray, H. M. 1998).



#### **1.4.2. Der Nucleus pulposus**

Der Nucleus pulposus ist ein Gallertkern, der ringförmig vom Anulus fibrosus umgeben wird und in engem Kontakt zu den kranialen und kaudalen Endplatten der benachbarten Wirbel liegt (J. P.; Burbidge Bray, H. M. 1998, Hansen 1952). Er besteht zu 80–88 % aus Wasser, welches an die in der Grundsubstanz enthaltenen Proteoglykane gebunden wird (Hansen 1952, Hoerlein 1978a). Die Anzahl und Zusammensetzung der Proteoglykane ändert sich im Laufe des Lebens sehr stark und führt dazu, dass weniger Wasser gebunden werden kann (Ghosh et al. 1977a).

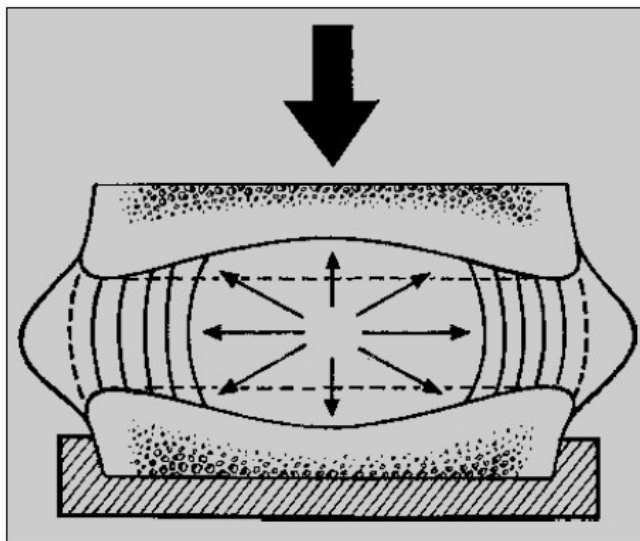
#### **1.4.3. Die Endplatte**

Die Endplatten stellen die kranialen und kaudalen Grenzen der Bandscheibe dar und stehen in Kontakt mit den Wirbelkörpern (J. P.; Burbidge Bray, H. M. 1998). Sie sind von einer 1–2 mm dicken Schicht hyalinem Knorpel überzogen, die zum Zentrum der Endplatte hin deutlich ausdünn. Die Kollagenfasern des Anulus fibrosus und des Nucleus pulposus sind mit den Kollagenfasern der knorpeligen Endplatten verwoben und formen so stabile Sharpey-Fasern (Marchand und Ahmed 1990, Inoue 1981). Des Weiteren sind die Kollagenfasern des Anulus fibrosus mit den dorsalen und ventralen Ligg. longitudinalia verbunden. Die Endplatten sind maßgeblich an der Nährstoffversorgung der Bandscheiben beteiligt (Crock und Goldwasser 1984, J. P.; Burbidge Bray, H. M. 1998). Dies geschieht durch Diffusion, vorrangig im Zentrum der Endplatten, wo die sie überziehende Knorpelschicht am dünnsten und das Netz an Kapillaren am dichtesten ist (J. P.; Burbidge Bray, H. M. 1998).

#### **1.5. Die Wirbelsäule und die Bandscheibe als Funktionseinheit**

Die spezielle Anatomie der Wirbelsäule des Hundes ergibt sich aus der Notwendigkeit, als Jäger lebendige Beute erlegen zu müssen (Slijper 1946). Dementsprechend ist die Wirbelsäule des Hundes sehr flexibel, am meisten in dorsaler Richtung und ebenfalls sehr in ventraler Richtung. Die Beweglichkeit findet im Bereich des thorakolumbalen Übergangs ihr Maximum (Slijper 1946). Dies wird dadurch gewährleistet, dass sich die Processus spinosi in diesem Bereich verschmälern und sich somit der Abstand zwischen zwei Processus vergrößert (Slijper 1946). Das den Processus aufliegende Ligament ist die Beweglichkeit unterstützend nur zu einem sehr geringen Ausmaß entwickelt. Die

Bandscheibe muss, um die Beweglichkeit der Wirbelsäule gewährleisten zu können, zum einen flexibel genug sein, um den maximalen Bewegungsumfang während der Fortbewegung zuzulassen und zum anderen rigide genug sein, um den physiologischen Kräften, die entlang der Wirbelsäule entstehen, standhalten zu können. Die bei einer Druckbelastung einwirkenden Kräfte werden vorrangig vom Nucleus pulposus absorbiert und generieren einen hydraulischen Druck, der sich radiär ausbreitet (Panjabi und White 1980) (siehe Abb. 4). Daraufhin verändern sich die einzelnen lamellären Fasern des Anulus fibrosus in ihrer Anordnung zueinander, formen ein stabileres Gerüst und begrenzen so den Umfang der Bandscheibe, obwohl diese von ihrem Durchmesser her reduziert wird (also quasi zusammengedrückt und dünner wird). Dadurch entsteht eine starke Zugbelastung auf die Fasern des Anulus fibrosus, wodurch dieser noch mehr versteift und somit verhindert wird, dass er unter der starken Druckbelastung kollabiert (Panjabi und White 1980, J. P.; Burbidge Bray, H. M. 1998).



**Abb. 4: Verteilung der Kräfte innerhalb der Bandscheibe bei Druckeinwirkung; aus Bray (1998).**

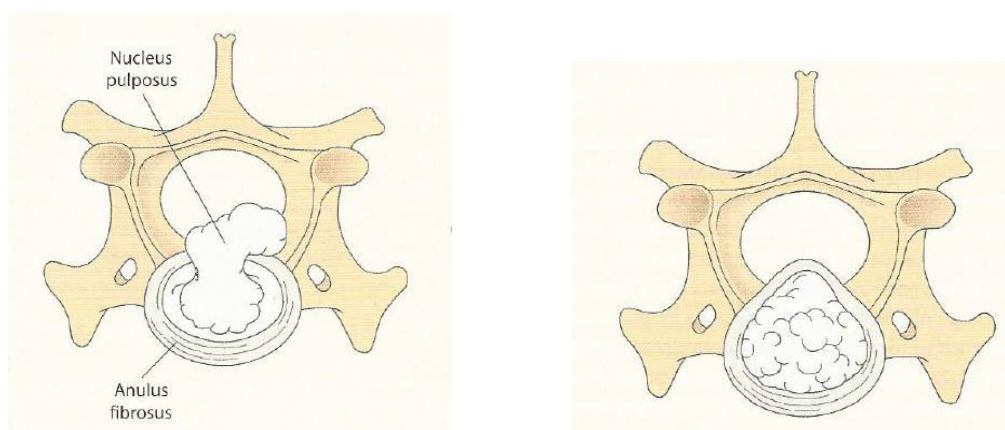
Gertzbein, Holtby et al. (1984) zeigten, dass die Lamellen des Anulus fibrosus dreimal so stark sind, wenn die Kräfte entlang des Faserverlaufs einwirken. Daher geht man davon aus, dass die schräge und unterschiedliche Anordnung der Fasern es dem Anulus fibrosus ermöglicht, die Fasern je nach Art der Belastung jeweils optimal auszurichten (Panjabi und White 1980). Die in vivo zusätzlich häufig einwirkenden Scher-, Torsions-, Biege- und Zugbelastungen werden neben der Bandscheibe zusätzlich von den die Wirbelsäule stabilisierenden Bändern und

Facettengelenken abgefangen.

## 2. Bandscheibenerkrankungen beim Hund

### 2.1. Vorkommen und Typen

Die Diskopathie ist eine beim Hund häufig vorkommende und frequent untersuchte Erkrankung (Brown et al. 1977, Goggin et al. 1970, Hansen 1951, Hoerlein 1953, Jensen und Arnbjerg 2001, Simpson 1992). Hansen (1951) unterschied erstmals zwischen zwei Formen von Bandscheibenvorfällen (siehe Abb. 5). Bei einem Hansen-Typ-I-Vorfall kommt es zu einer akuten Extrusion des Nucleus pulposus mit Ruptur des Anulus fibrosus, betroffen sind chondrodystrophe Rassen zu jedem Lebensalter. Bei einem Hansen-Typ-II-Vorfall hingegen handelt es sich um eine Protrusion des Anulus fibrosus, der vor allem nichtchondrodystrophe Rassen ab einem Alter von acht Jahren betrifft (Hansen 1952, J. P.; Burbidge Bray, H. M. 1998). Hansen (1952) zählte damals Dackel, Dachsbracken, Pekinesen, Spaniels und Französische Bulldoggen zu den chondrodystrophen Rassen. In späteren Untersuchungen wurden unter anderem auch Bassets, Englische Bulldoggen, Shi Tzus, Miniatur-Schnauzer, Beagle, Lhasa Apsos und Bichon Frisés dazu gezählt (Hoerlein 1953, Goggin et al. 1970, Braund et al. 1975, Kranenburg et al. 2013). Es zeigten sich jedoch zwischen den einzelnen Autoren deutliche Unterschiede, was die Zugehörigkeit zur chondrodystrophen Rasse angeht.



**Abb. 5: Schematische Darstellung eines Bandscheibenvorfalles Hansen Typ I (links) und Hansen Typ II (rechts); aus Fossum (2009).**

## 2.2. Pathogenese von Bandscheibenerkrankungen

Die Degeneration der Bandscheibe geht mit einem Verlust an Wasser einher, was unter anderem auf die verminderte Anzahl an Proteoglykanen zurückzuführen ist (Hansen 1951, Ghosh et al. 1976a, Ghosh et al. 1977b). Aufgrund dessen kann die Bandscheibe schlechter als Stoßdämpfer funktionieren und beeinflusst somit die normale Funktion der Wirbelsäule (White und Panjabi 1978). Dies kann wiederum sekundär die umgebenden Strukturen wie z. B. Facettengelenke beeinflussen.

Bei chondrodystrophen Rassen zeigen sich die strukturellen Veränderungen im Bereich der Bandscheibe sehr früh (Hansen 1952). Bereits nach einem Jahr ersetzt cartilaginöses Material zu 75–100 % den ehemaligen Nucleus pulposus (Hansen 1952, Hoerlein 1953, Braund et al. 1975, Ghosh et al. 1976b). Diese Veränderungen lassen sich über die gesamte Länge der Wirbelsäule hinweg beobachten, vorrangig jedoch im Bereich der Halswirbelsäule und des thorakolumbalen Übergangs. Auf diese Umwandlung folgt die Kalzifizierung des cartilaginösen Materials. Mit einem Alter von 2 Jahren sind bereits 60–70 % aller Bandscheiben kalzifiziert (Hoerlein 1953). Der Nucleus pulposus der chondrodystrophen Rassen enthält zum Zeitpunkt der Geburt bereits bis zu 12-mal so viel Kollagen wie Proteoglykane (Ghosh et al. 1977b), mit 11 Monaten beträgt der durchschnittliche Kollagengehalt 25 %. Auf die Veränderung des Nucleus pulposus folgt die Degeneration des Anulus fibrosus (Hansen 1952), es kommt zu einer vermehrten Einlagerung von Kollagen und die lamellären Fasern reißen teilweise oder komplett ein. Bereits geringe Stresseinwirkungen oder Traumata können zu diesem Zeitpunkt zu einem akuten Vorfall des nukleären Materials durch den Anulus fibrosus hindurch in den Wirbelkanal führen. Diese Vorgänge lassen sich vorrangig im dorsolateralen Bereich beobachten, da hier der Anulus fibrosus zum einen dünner und zum anderen die Anzahl der unterbrochenen lamellären Fasern höher ist (Marchand und Ahmed 1990). Hansen (1952) bezeichnete die Veränderungen als chondroide Metaplasie.

Bei den nichtchondrodystrophen Rassen treten die Veränderungen üblicherweise ab einem Alter von acht Jahren auf (Hansen 1952). Bray und Burbidge (1998) zeigten jedoch, dass diese Veränderungen bereits auch bei jungen Hunden im Zusammenhang mit Rissen des Anulus fibrosus auftraten. Bei nichtchondrodystrophen Rassen besteht der Nucleus pulposus lebenslang aus

weniger als 5 % Kollagen (Ghosh et al. 1976a, Ghosh et al. 1976b). Mit zunehmendem Alter nimmt der Wassergehalt des Nucleus pulposus ab (J. P. Bray und Burbidge 1998). Zusätzlich nimmt die mitotische Aktivität der perinukleär liegenden Zellen zu, sie produzieren vermehrt Kollagen, welches sich in den Nucleus pulposus hinein ausbreitet und dort Septen bildet. Die Grenze zwischen Nucleus pulposus und Anulus fibrosus ist schwerer zu unterscheiden. Hansen (1952) bezeichnete die stattfindenden Veränderungen als fibroide Metaplasie. Seine Untersuchungen zeigten, dass die morphologischen Veränderungen der Bandscheiben nichtchondrodystropher Rassen während des normalen Alterungsprozesses sich nicht von denen der degenerativen Veränderungen unterscheiden. Allerdings können Traumata, die zu Rissen des Anulus fibrosus führen, letzteren Prozess beschleunigen (J. P. Bray und Burbidge 1998). Zeitgleich oder früher kommt es zu degenerativen Veränderungen im Bereich des Anulus fibrosus. Die degenerativen Veränderungen treten vor allem im Bereich der kaudalen Halswirbelsäule und des lumbosakralen Übergangs auf, sodass anders als bei den chondrodystrophen Rassen nicht alle Bandscheiben davon betroffen sind (Hansen 1952).

Mit fortschreitender Veränderung der Zusammensetzung des Nucleus pulposus kommt es zunehmend zu einer Umverteilung der einwirkenden Kräfte (J. P. Bray und Burbidge 1998). Der Nucleus pulposus kann keinen hydraulischen Druck mehr aufbauen, sodass die Druckbelastung, die auf den Anulus fibrosus einwirkt, deutlich größer als normal ausfällt. Der Anulus fibrosus ist dadurch nicht in der Lage, die einwirkenden Druckkräfte in Zugkräfte umzuwandeln und dehnt sich infolge dessen über das normale Maß in die Peripherie hin aus. Teilweise tritt auch nukleäres Material durch Risse des Anulus fibrosus hindurch (Smolders et al. 2013). Es kommt zu einer Kompression der Nervenwurzeln oder des Rückenmarks. Zusätzlich kann es durch die veränderte Krafteinwirkung zu arthrotischen Veränderungen der Facettengelenke sowie zur Ausbildung von Spondylosen kommen.

Spätere Studien konnten zeigen, dass die degenerativen Vorgänge nicht- und chondrodystropher Rassen sich weitaus mehr ähneln als bisher gemeinhin angenommen, da auch die nichtchondrodystrophen Rassen vermehrt chondroides Material im Bereich des Nucleus pulposus einlagern (Kranenburg et al. 2013, Bergknut et al. 2013, Bergknut et al. 2012). Klauser et al. (2012) konnten in ihren

Untersuchungen feststellen, dass auch die Apoptose eine Rolle bei Bandscheibenvorfällen spielt: chondrodystrophe Rassen wiesen eine höhere Apoptose-Rate der Proteine in ihren Bandscheiben auf.

### **2.3. Rasseprädisposition Dackel**

Dackel als Vertreter der chondrodystrophen Rassen haben ein zehn- bis zwölfmal höheres Risiko, an einem Bandscheibenvorfall zu erkranken (Goggin et al. 1970). Die Inzidenz, einen Bandscheibenvorfall zu erleiden liegt bei dieser Rasse bei durchschnittlich 18 %, wobei diese Anzahl innerhalb der einzelnen Familien deutlichen Schwankungen unterliegt (Ball et al. 1982). Unter der Gesamtzahl an Hunden, die einen Bandscheibenvorfall erleiden, machen Dackel 50–75 % aus (Olby et al. 2003, Brown et al. 1977, Gage 1975). Meist treten die Herniationen im Alter von drei bis sieben Jahren auf, am häufigsten ist die Region des thorakolumbalen Überganges betroffen (Olby et al. 2004, Hoerlein 1953, Brown et al. 1977).

Die Ursachen sind multifaktoriell. Genetische und mechanische, sowie Umweltfaktoren und nicht zuletzt Alterungsprozesse kommen hierbei zum Tragen (Ball et al. 1982, Stigen und Christensen 1993).

Die degenerativen Veränderungen der Bandscheiben chondrodystropher Rassen sind eine schnell fortschreitende Erscheinungsform, die durch die Chondrodystrophie genetisch bedingt sind (Braund et al. 1975). Mehrere Untersuchungen haben sich außerdem mit dem Zusammenhang zwischen der Kalzifizierung von Bandscheiben und dem späteren Auftreten von Bandscheibenvorfällen beschäftigt (Stigen 1996, Jensen und Arnbjerg 2001, Jensen und Christensen 2000, Mogensen et al. 2011). Die Anzahl der kalzifizierten Bandscheiben erreicht im Alter von 24–27 Monaten ihr Maximum, später ist eine Abnahme der Anzahl kalzifizierter Bandscheiben zu verzeichnen (Jensen und Arnbjerg 2001). In derselben Studie konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die Anzahl kalzifizierter Bandscheiben bei Hunden, die zwei oder weniger kalzifizierte Bandscheiben hatten, ab dem zweiten Lebensjahr nahezu konstant blieb, während sie bei Patienten mit mehr als zwei kalzifizierten Bandscheiben in höherem Alter sowohl nach oben als auch nach unten variierte. Stigen (1996) verzeichnete in seiner Studie eine Zunahme der kalzifizierten Bandscheiben bis zum fünften Lebensjahr. Als Ursachen für die spätere Abnahme der Anzahl

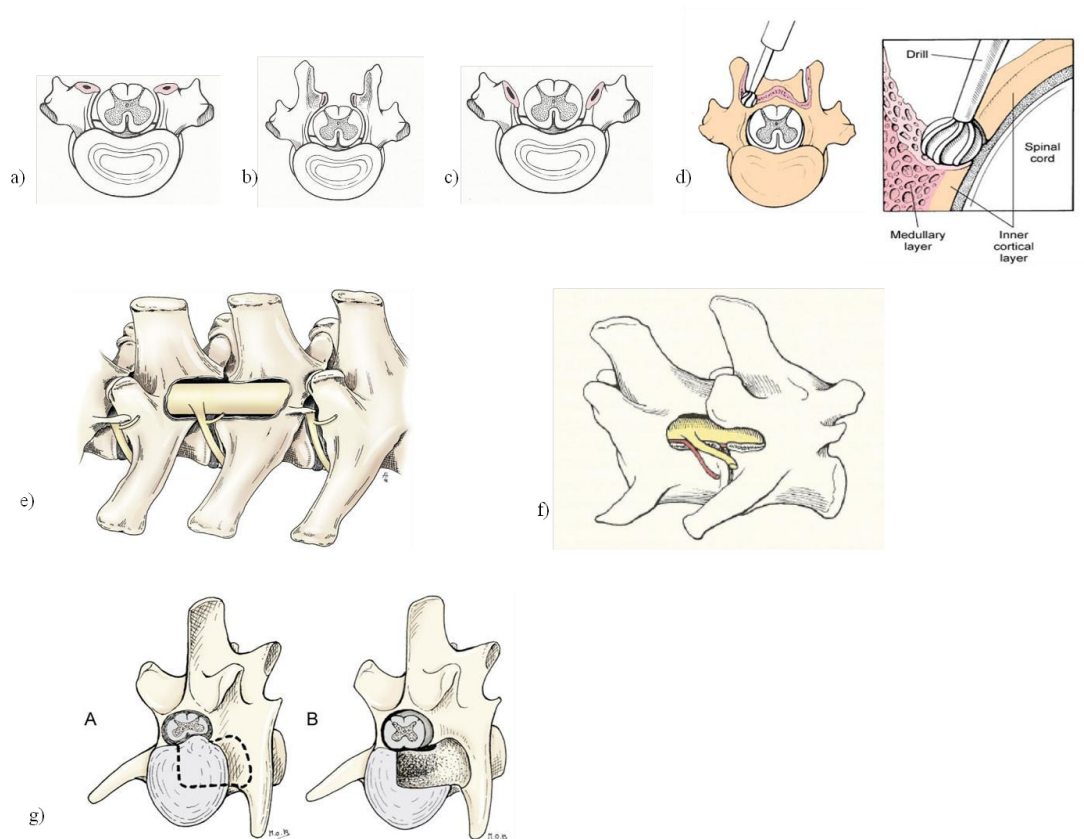
kalzifizierter Bandscheiben werden zum einen klassische Bandscheibenvorfälle sowie „stille Herniationen“, welche dann aufgrund des entstehenden Entzündungsprozesses zu einer Demineralisierung und Phagozytose des kalzifizierten Materials führen, angesehen (Jensen und Arnbjerg 2001). Kalzifizierte Bandscheiben und deren Anzahl sind ein radiologisch sichtbarer Hinweis für den Schweregrad der in den Bandscheiben ablaufenden degenerativen Prozesse und stellen einen Indikator für das Risiko, später an einem Bandscheibenvorfall zu erkranken dar (Jensen V. F. 2008). Bandscheibenvorfälle bei Dackeln ohne Hinweise auf Kalzifizierung sind selten, allerdings laufen degenerative Prozesse innerhalb der Bandscheiben auch ohne sichtbare Kalzifizierung ab (Lappalainen et al. 2001, Stigen 1996). Mogensen et al. (2011) zeigten in ihrer Studie, dass ein Genabschnitt auf Chromosom 12 die Entwicklung einer Bandscheibenkalzifizierung beim Dackel beeinflusst und auch Jensen und Christensen (2000) konnten in ihrer Studie die Heritabilität von Bandscheibenkalzifizierungen beim Dackel nachweisen. Daraus ergaben sich Empfehlungen, Dackel mit zwei Jahren einer röntgenologischen Untersuchung zu unterziehen und anhand der Anzahl der kalzifizierten Bandscheiben für die spätere Zucht zu selektieren (Jensen und Arnbjerg 2001).

Neben genetischen wurden auch mechanische und physische Faktoren als relevante Komponenten bei Bandscheibenerkrankungen angeführt (Jensen und Ersboll 2000, Levine JM 2006, Puustjarvi et al. 1993). Ein geringerer Abstand zwischen dem ersten Thorakal- sowie dem ersten Sakralwirbel führt ebenso wie ein kürzerer Abstand zwischen Tuber calcaneus und Patellarsehne zu einem höheren Risiko, einen Bandscheibenvorfall zu erleiden. Auch eine größere Widerristhöhe sowie ein breiteres Becken erhöhen das Risiko (Levine JM 2006). Jensen und Ersboll (2000) erhielten in ihrer Studie Hinweise darauf, dass eine größere Körperlänge in Kombination mit einer kürzeren Beinlänge das Risiko eines Bandscheibenvorfalles verringert. Während monotone Bewegungsformen, neben dem Fahrrad herlaufen sowie Überanstrengung die Degeneration der Bandscheiben beschleunigen und so das Risiko eines Bandscheibenvorfalles erhöhen, scheint dies durch moderate und abwechslungsreiche Aktivität (hierzu zählen auch Treppen steigen und Jagen) gesenkt werden zu können (Jensen und Ersboll 2000, Puustjarvi et al. 1993).

### **3. Therapie von Bandscheibenvorfällen**

Bei der Therapie von Bandscheibenvorfällen unterscheidet man zwischen konservativem Management und chirurgischer Intervention (Levine et al. 2007). Die konservative Therapie umfasst Käfigruhe, Physiotherapie sowie muskelrelaxierende, analgetische und antiinflammatorische Medikamente und wird vorrangig bei Patienten angewandt, welche noch geh- und stehfähig sind, sowie nur milde neurologische Ausfallerscheinungen und Rückenschmerzen zeigen (Coates 2000, Sharp und Wheeler 2005). Patienten mit starken neurologischen Ausfallerscheinungen bis hin zur kompletten Lähmung, chronischen Rückenschmerzen oder mangelnder Besserung unter konservativer Therapie werden einer dekompressiven Operation unterzogen. Die konservative Therapie hat eine Erfolgsrate von 48–100 % (Levine et al. 2007, Hayashi et al. 2007, Ingram et al. 2013). Verglichen mit der chirurgischen Therapie, die eine Erfolgsrate von 94,8 % aufweist, liegt die konservative Therapie mit durchschnittlich 55,6 % deutlich niedriger (Levine et al. 2007, Sukhiani et al. 1996). Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass bei Radikulopathien und Rückenschmerzen aufgrund eines Bandscheibenvorfalles die chirurgische Therapie bessere Erfolge erzielt (Chou et al. 2009). Es werden in der Literatur verschiedene dekompressive und auch prophylaktische Operationsmöglichkeiten beschrieben: die dorsale Laminektomie (Funkquist 1970), sowie die modifizierte dorsale Laminektomie (Trotter et al. 1975), die Hemilaminektomie (Knecht 1972), die Mini-Hemilaminektomie und Pediclektomie (Braund et al. 1976, Bitetto und Brown 1989), die laterale Corpectomie (Moissonnier et al. 2004) sowie die prophylaktische Fenestration der Bandscheibe (Olsson 1951, Denny 1978, Funkquist 1978). Die nachfolgende Abbildung 6 zeigt die verschiedenen Operationsmöglichkeiten.



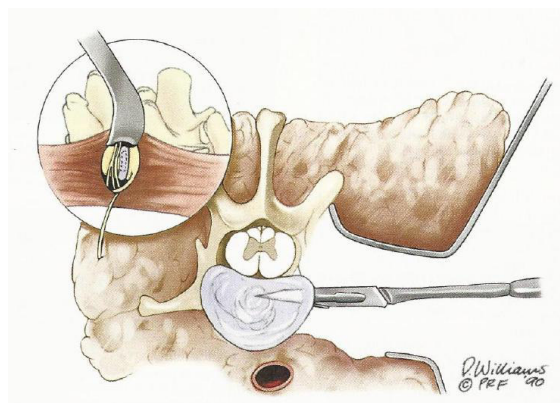


**Abb. 6: Operationsmöglichkeiten bei der Therapie von Bandscheibenvorfällen: a) Dorsale Laminektomie Funkquist A b) Dorsale Laminektomie Funkquist B c) Tiefe dorsale Laminektomie d) Modifizierte dorsale Laminektomie e) Linksseitige Hemilaminektomie f) Minihemilaminektomie g) Laterale Corpektomie; Grafiken aus Tobias (2012) und Fossum (2009).**

Studien haben gezeigt, dass sich die laterale Corpektomie vor allem bei Patienten mit chronischen Bandscheibenvorfällen als Operationsmethode gut eignet, da hierbei seltener eine Schädigung des Rückenmarks durch zu starke Manipulation während der Entfernung des häufig bereits mit dem Rückenmark verklebten Bandscheibenmaterials auftritt (Moissonnier et al. 2004, Forterre und Lang 2010). Verglichen mit der dorsalen Laminektomie konnte bereits experimentell gezeigt werden, dass die Hemilaminektomie bessere klinische Ergebnisse aufwies (Gage und Hoerlein 1968). Der neurologische Status von Patienten nach Hemilaminektomie war eine Woche postoperativ besser und weniger Patienten erlitten durch die OP einen temporären Verlust der Tiefensensibilität (McKee 1992). 83 % der Patienten mit Hemilaminektomie erlangten postoperativ ihr Gehvermögen wieder, verglichen mit 74 % nach dorsaler Laminektomie (Muir et al. 1995). Direkt postoperativ durchgeführte MRTs zeigten, dass nach

dekompressiver Chirurgie mittels Hemilaminektomie in 100 % der Fälle verbliebenes Bandscheibenmaterial im Wirbelkanal darzustellen war, jedoch zeigte keiner der Patienten erneute neurologische Defizite aufgrund des verbliebenen Materials (Roach et al. 2012). 88 % der Patienten mit wiederkehrenden neurologischen Symptomen mehr als 4 Wochen nach Hemilaminektomie wiesen an einer anderen Stelle der Wirbelsäule einen Bandscheibenvorfall auf (Dhupa S 1999). Somit gilt die Hemilaminektomie als suffiziente Operationsmethode, die in den meisten Fällen die erste Wahl darstellt.

Die Fenestration als prophylaktische Operationsmethode wird in der Literatur kontrovers diskutiert (Aikawa et al. 2012, Brisson et al. 2011, Brisson et al. 2004, Forterre et al. 2008) (siehe Abb. 7). Verschiedene Studien konnte zeigen, dass eine Fenestration in Kombination mit einer dekompressiven Operation zu einer geringeren Rezidivrate führt (Forterre et al. 2008, Brisson et al. 2004). In der Studie von Forterre, Konar et al. (2008) lag die Rezidivrate nach einer rein dekompressiven Operation innerhalb der ersten 6 Wochen bei 60 %, in Kombination mit einer Fenestration zeigten sich keine Rezidive. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass im Zuge einer Fenestration das Bandscheibenmaterial nie komplett entfernt werden konnte (Forterre et al. 2008, Holmberg et al. 1990), es verblieben 35–59 % des Bandscheibenmaterials im Intervertebralspalt. Auch der gewählte operative Zugang beeinflusst die Effektivität der Fenestration: je lateraler der Zugang in der Operation gewählt wird, desto mehr Bandscheibenmaterial konnte entfernt werden (Morelius et al. 2007).



**Abb. 7: Laterale Fenestration einer Bandscheibe, Entfernung des Nucleus pulposus; aus Tobias (2012).**

In Studien, die sich mit der prophylaktischen Fenestration der benachbarten Bandscheiben beschäftigten, konnte gezeigt werden, dass die Rezidivrate stärker

gesenkt werden konnte, als wenn nur die betroffene Bandscheibe fenestriert wurde (Aikawa et al. 2012, Brisson et al. 2011): Brisson, Holmberg et al. (2011) konnten eine Rezidivrate von 7,45 % bei prophylaktischer multilokaler Fenestration im Vergleich zu 17,89 % bei singulärer Fenestration der betroffenen Bandscheibe aufzeigen, Aikawa, Fujita et al. (2012) sprechen von einer 26-fach höheren Rezidivrate. Die Risiken, die mit einer Fenestration einhergehen, reichen von verlängerter Narkose- und Operationszeit, dem Auftreten von Blutungen, der iatrogenen Einbringung von Bandscheibenmaterial in den Wirbelkanal bis hin zu vertebraler Subluxation/Instabilität (Funkquist 1978, Hoerlein 1978b, Bartels et al. 1983). Andere Studien sprechen von einer Rezidivrate von 0–24,4 % bei prophylaktischer Fenestration verglichen mit 2,7–41,7 % ohne Fenestration (Funkquist 1978). Rezidive zeigen sich – unabhängig davon, ob eine Fenestration durchgeführt wurde oder nicht – am häufigsten an den direkt benachbarten Intervertebralspalten/Bandscheiben, da es durch die durchgeführte Operation zu einem erhöhten Stress auf diese Bandscheiben kommt (Dhupa S 1999, Brisson et al. 2004).

#### **4. Ganganalyse**

Die Ganganalyse als objektive Untersuchungsmethode hat schon länger in der Tiermedizin stark an Bedeutung gewonnen (Off und Matis 1997b, Gillette und Angle 2008). Sie eignet sich sowohl zur In-vivo-Untersuchung der Bewegungsmuster gesunder Individuen, als auch zur präzisen orthopädischen Untersuchung, der Detektion von prä- und postoperativen Lahmheiten und der Analyse von Kompensationsmechanismen nach operativen Eingriffen. Die Erhebung der kinetischen Parameter erfolgt mittels hochsensibler Kraftmessplatten, die kinematischen Parameter werden mit Kameras aufgenommen und elektronisch verarbeitet (Off und Matis 1997a). Somit ist die Ganganalyse in diesen Bereichen der rein adspektorischen subjektiven Lahmheitsuntersuchung überlegen (DeCamp 1997, Voss et al. 2007).

In der Ganganalyse unterscheidet Hatze (1974) unter dem Begriff Biomechanik die drei Gebiete der Biostatik, Biodynamik und Biokinematik. Die Biostatik untersucht ein in sich ruhendes, im Gleichgewicht befindliches System, bei der Biodynamik werden die Kräfte, die während der Bewegung eines Körpers auftreten näher betrachtet und die Biokinematik untersucht die Bewegung eines

Körpers in sich. Off und Matis (1997b) sprechen von Biokinetik und Biokinematik, wobei erstere sich mit den auf den Körper wirkenden Kräften beschäftigt und letztere die rein geometrische Beschreibung der Bewegung, ohne Kräfte zu nennen, beinhaltet.

#### **4.1. Ablauf des Ganges**

DeCamp et al. (1993) beschrieben den Schritt als kleinste sich wiederholende Einheit in der Fortbewegung und als ein sich wiederholendes Koordinationsmuster. Ein Schritt setzt sich zusammen aus der Standphase, bei der die Gliedmaße Kontakt zum Untergrund hat und der Schwungphase, bei der die Gliedmaße frei ohne Bodenkontakt nach vorne geführt wird (Dalin et al. 1973). Der Bewegungszyklus einer Gliedmaße besteht aus den vier Phasen Anheben, Vorschwingen, Stützen und Stemmen, wobei diese vier Phasen in den verschiedenen Gangarten in unterschiedlicher Weise gegeneinander verschoben sind (Seiferle und Frewein 2004). Der Schritt eines Hundes ist in aller Regel ein Viertakter und kann in acht Einzelphasen unterteilt werden (Seiferle und Frewein 2004) (siehe Abb. 8):

Phase 1: Standphase auf drei Extremitäten (beide Vordergliedmaßen, rechte Hintergliedmaße)

Phase 2: rechte sagittale Doppelstandphase (rechte Vorder- und Hintergliedmaße)

Phase 3: Standphase auf drei Extremitäten (rechte Vordergliedmaße, beide Hintergliedmaßen)

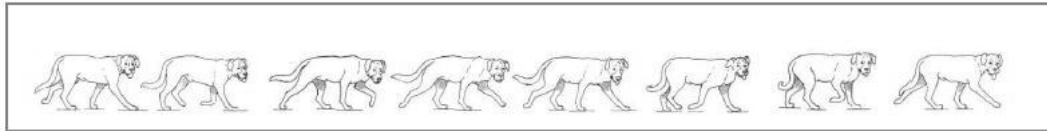
Phase 4: rechte diagonale Doppelstandphase (rechte Vordergliedmaße, linke Hintergliedmaße)

Phase 5: Standphase auf drei Extremitäten (beide Vordergliedmaßen, linke Hintergliedmaße)

Phase 6: linke sagittale Doppelstandphase (linke Vorder- und Hintergliedmaße)

Phase 7: Standphase auf 3 Extremitäten (linke Vordergliedmaße, beide Hintergliedmaßen)

Phase 8: linke diagonale Doppelstandphase (linke Vordergliedmaße, rechte Hintergliedmaße)

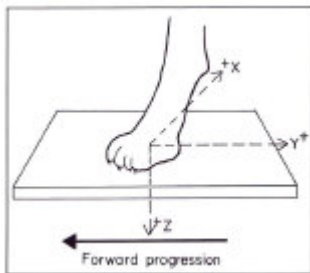


**Abb. 8: Ablauf eines gewöhnlichen Schrittes des Hundes; nach Seiferle und Frewein (2004).**

Der Trab eines Hundes ist ein Zweitakter und stellt damit einen einfachen diagonalen Synchronismus dar (Seiferle und Frewein 2004).

#### **4.2. Kinetik**

Die während der Ganganalyse erhobenen kinetischen Werte werden als Bodenreaktionskräfte bezeichnet (Off und Matis 1997b). Man unterscheidet hierbei drei Ebenen von Kräften:  $F_x$  gibt die mediolaterale Kraft,  $F_y$  die kraniokaudale Kraft und  $F_z$  die vertikale Bodenreaktionskraft (PVF, Peak vertical force) an (Budsberg et al. 1987) (siehe Abb. 9). Letztere hat sich als die größte und konstanteste der drei Kräfte erwiesen und wird daher am häufigsten in der Ganganalyse verwendet (Budsberg et al. 1987, Rumph et al. 1994). Da sie in % KGW angegeben wird, kann so ein Vergleich zwischen Hunden unterschiedlicher Gewichtsklassen durchgeführt werden.



**Abb. 9: schematische Darstellung der Bodenreaktionskräfte: +x mediolaterale Kraft, +y kraniokaudale Kraft, +z vertikale Bodenreaktionskraft.**

Die genaue Lage des Körperschwerpunktes des Hundes im Stand ist rasseabhängig, befindet sich jedoch etwas näher an den Vordergliedmaßen als an den Hintergliedmaßen, wodurch erstere etwas mehr Gewicht tragen (Roy 1971). Auch in der Bewegung übernehmen die Vordergliedmaßen ca. 60 %, die Hintergliedmaßen 40 % der Last (Budsberg et al. 1987, Hutton et al. 1969), wobei sich die Werte auch hier zwischen den Rassen leicht unterscheiden. Die gesamte

Kraft, die darüber hinaus während einer Standphasendauer (SD) wirkt, kann berechnet werden, man erhält den vertikalen Impuls (VI) als Integral der Kraft über die Zeit (Budsberg et al. 1987). Der VI wird in % KGW \* s angegeben. Auch hier zeigt sich wieder eine annähernd gleichmäßige Verteilung zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen von etwa 30 % je Vordergliedmaße und 20 % je Hintergliedmaße. Zur Beurteilung, ab welchem Prozentsatz eine Abweichung von dieser Verteilung als pathologisch zu werten ist, stehen verschiedene Indices zur Verfügung (Budsberg et al. 1993), der von uns genutzte ist der Symmetrie-Index von Robinson (1987). Dieser berechnet sich wie folgt:

$$SI = \text{ABS } 200 \times \left( \frac{PVF_{li} - PVF_{re}}{PVF_{li} + PVF_{re}} \right)$$

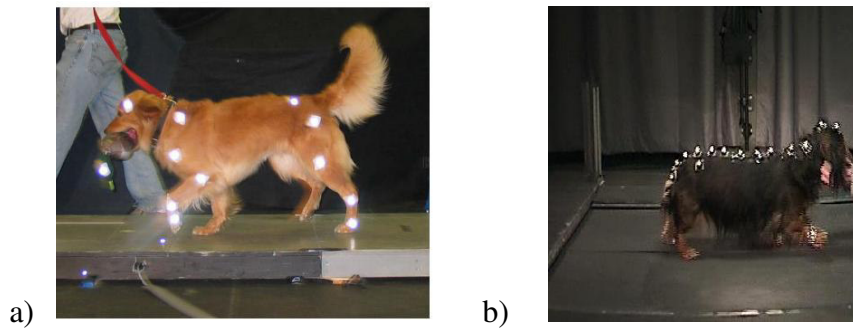
ABS = Betrag

PVF li = Peak vertical force der linken Vorder- bzw. Hintergliedmaße

PVF re = Peak vertical force der rechten Vorder- bzw. Hintergliedmaße

Ersetzt man die PVF durch den Wert des VI so erhält man den Symmetrie-Index in Bezug auf den Impuls.

Ein Symmetrie-Index von > 9 (PVF) bzw. > 10 (VI) wird als Lahmheit gewertet (Voss et al. 2007, Layer 2012, Senckenberg 2016). Voss, Imhof et al. (2007) zeigten zudem, dass subklinische, geringgradige Lahmheiten im Trab besser detektiert werden können als im Schritt. Für die Erhebung der kinetischen Daten werden in der Veterinärmedizin die Probanden entweder über ein oder mehrere am Boden liegende Kraftmessplatten geführt, oder sie gehen auf einem Laufband mit darunter befindlichen Kraftmessplatten (Gillette und Angle 2008) (siehe Abb. 10). Der Vorteil eines Laufbandes liegt hierbei in der wiederholten Erhebung der Werte bei konstanter Geschwindigkeit in kürzester Zeit.



**Abb. 10: Erhebung der kinetischen Daten: a) Führung über am Boden liegende Kraftmessplatten; Grafik aus Gillette and Angel 2008 b) Führung auf einem Laufband.**

#### 4.3. Kinematik

Die Kinematik beschäftigt sich mit der Bewegung des Körpers ohne Kraftmessung (Off und Matis 1997b). Zur Erhebung der kinematischen Parameter werden die Probanden je nach Aufnahmesystem mit reflektierenden oder nichtreflektierenden hautfixierten Markern, welche an bestimmten Knochenpunkten angebracht werden, versehen (Gillette und Angle 2008) (siehe Abb. 10). Die Marker können jedoch auch knochenfixiert sein (Farber et al. 2001). Verschiedene Studien haben sich mit der Hautverschieblichkeit im Hinblick auf Messungenauigkeiten beschäftigt (Kim et al. 2011, Taylor et al. 2005). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Abweichungen der Messwerte einem gleichmäßigen Muster folgen und somit zu reproduzierbaren Ergebnissen führen. Im direkten Vergleich von knochenfixierten und hautfixierten Markern unterschieden sich die Messwerte nur in der Transversalebene (Seitwärtsbewegung) im Schritt, im Trab und in der Sagittalebene (Auf- und Ab-Bewegung) konnten keine nennenswerten Unterschiede festgestellt werden (Farber et al. 2001). Wie in der Kinetik werden auch in der Kinematik verschiedene Parameter erhoben (Gillette und Angle 2008, Hottinger et al. 1996, Leach 1993). Innerhalb eines dreidimensionalen Raumes wird die Position eines Markers durch drei Werte (x-, y- und z-Wert) festgelegt. Ausgehend von der Markerposition in einer Ebene kann mittels der Differenz zwischen dem auftretenden Minimal- und Maximalwert der Bewegungsumfang des Markers, die Range of Motion (ROM) berechnet werden. Der Zeitpunkt des Auftretens eines Ereignisses (z. B. eines Maximalwertes) kann mittels der Time of Occurrence (TOO) angegeben werden. Zusätzlich kann zwischen der Position von drei Markern ein Winkel ( $^{\circ}$ ) berechnet werden (z. B. ein Gelenkwinkel und dessen

Wert in verschiedenen Gangphasen). In der Kinematik kann wie in der Kinetik auch der Beginn eines Schrittes mit dem Beginn der Standphase definiert werden (Poy et al. 2000).

#### **4.4. Gangbildanalyse der Rückenbewegung**

Wurden diverse Krankheitsbilder im Bereich der Gliedmaßen wie z. B. die Ellbogendysplasie, die Hüftgelenkdysplasie und die Ruptur des kranialen Kreuzbandes bereits mehrfach ganganalytisch untersucht (Bennett et al. 1996, Burton et al. 2011, Caron et al. 2014, DeCamp et al. 1996, Galindo-Zamora et al. 2014, Marsolais et al. 2003, Miqueleto et al. 2013, Raith 2010, Ernst 2012, Mussmann 2009, Berger et al. 2015), so existieren hinsichtlich der Rückenbewegung von Hunden einige Kadaver- und nur wenige In-vivo-Studien (Burger und Lang 1992, Burger und Lang 1993, Meij et al. 2007, Sutton et al. 2016, Suwankong et al. 2007, van Klaveren et al. 2005, Layer 2012). Am Rücken können die klassischen kinetischen Parameter nicht erhoben werden, sodass über die kinematischen Parameter unter Zuhilfenahme der kinetischen Parameter der Gliedmaßen ein Ableiten der auf die Gliedmaßen wirkenden Kräfte auf den Rücken erfolgt (Layer 2012).

Im Rahmen von Kadaverstudien untersuchten unter anderem Burger und Lang (1992, 1993) den lumbosakralen Übergang des Schäferhundes und konnten feststellen, dass die vorherrschende Bewegungsform in diesem Bereich die Rotation ist. Meij et al. (2007) zeigten im Rahmen ihrer Studie, dass die dorsale Laminektomie mit partieller Diskektomie am lumbosakralen Übergang zu keiner vermehrten Instabilität führt, die Stabilität mittels bestimmter Fixationsmethoden jedoch erhöht werden kann. Foss (2013b, 2013a) konnte in ihren kinetischen und kinematischen Studien über Hunde der Rasse Dobermann mit zervikaler Spondylomyelopathie eine verkürzte Schrittdauer der Vordergliedmaßen, einen verringerten Abstand zwischen den Vordergliedmaßen sowie eine verminderte mediolaterale Kraft ( $F_x$ ) bei den erkrankten Tieren aufzeigen. Die kinetische Studie von Suwankong et al. (2007) beschäftigte sich mit dem Therapieerfolg dekompressiver Operationen im Rahmen einer degenerativen lumbosakralen Stenose bei Hunden. Die Patienten zeigten auch postoperativ weiterhin eine verminderte Schubkraft ( $F_y$ ) der Hintergliedmaßen. Van Klaveren et al. (2005) hingegen erhielten sechs Monate nach erfolgter operativer Dekompression einer lumbosakralen Stenose bei Hunden wieder normale Schubkräfte ( $F_y$ ). Aktuell gibt



es in der zugänglichen Literatur nur drei kinematische In-vivo-Studien zur Rückenbewegung des Hundes: Gradner et al. (2007) untersuchten die Rückenbewegung klinisch gesunder Malinois mit radiologischen Veränderungen im Bereich des lumbosakralen Überganges und konnten hierbei deutliche Unterschiede hinsichtlich des Bewegungsumfanges in diesem Bereich zwischen radiologisch auffälligen und unauffälligen Hunden finden. Layer (2012) verglich erstmals die Rückenbewegung gesunder Hunde der Rassen Labrador Retriever und Dackel miteinander und erstellte eine quantitative und qualitative Beschreibung derselben. In der dritten sehr aktuellen Studie von Sutton et al. (2016) wurden kinetische und kinematische Parameter der Hintergliedmaßen von an einem Bandscheibenvorfall erkrankten und mittels Hemilaminektomie versorgten Dackeln ( $n = 6$ ) erhoben. Hierbei konnte anhand eines virtuell gebildeten „mid-ilial Marker“ im Bereich des Sakrums ein deutlich vergrößerter ROM sowohl in der Transversal- als auch in der Sagittalebene festgestellt werden. Zudem war die PVF der Hintergliedmaße der Seite, an welcher die Hemilaminektomie durchgeführt wurde, signifikant vergrößert.

### **III. MATERIAL UND METHODEN**

#### **1. Patientenauswahl**

##### **1.1. Signalement und Anamnese**

Die Untersuchung erfolgte an erwachsenen Hunden chondrodystropher Rassen (Einzelwerte aller Hunde sind in Tabelle 36 im Anhang aufgeführt). Die zu untersuchenden Patienten wurden in zwei Gruppen unterteilt. Gruppe 1 bestand aus adulten, gesunden Hunden der Rasse Dackel. Hierbei wurde auf das Patientengut und die bereits im Rahmen ihrer Studie erhobenen Untersuchungen von Layer (2012) zurück gegriffen ( $n = 13$ ) und durch weitere Dackel ( $n = 8$ ) noch erweitert. Gruppe 2 bestand aus adulten Hunden, die einen Bandscheibenvorfall im Bereich der Brust- oder Lendenwirbelsäule erlitten hatten, welcher in der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München mittels MRT diagnostiziert und daraufhin operativ mittels Hemilaminektomie versorgt wurde. Der operative Eingriff lag zum Zeitpunkt der Laufbanduntersuchung mindestens sechs Monate zurück, um eine ausreichende muskuläre Stabilisierung im Bereich der Operationsstelle gewährleisten zu können. Die ausgewählten Patienten durften zum Zeitpunkt der Untersuchung im Rahmen dieser Studie keine neurologischen Defizite, Ataxie oder Lahmheit zeigen. Von der Studie ausgeschlossen wurden Hunde mit einem Bandscheibenvorfall im Bereich der Halswirbelsäule. Da die Patienten während der Ganganalyse am Halsband geführt wurden, hätte dies zu einer Verfälschung der Halsbewegung in der späteren Auswertung geführt. Ebenfalls ausgeschlossen wurden Patienten, die eine Lahmheit oder Ataxie im Rahmen der orthopädischen bzw. neurologischen Untersuchung aufwiesen, da dies ebenfalls zu einer Verfälschung der Untersuchungsergebnisse aufgrund des lahmheitsbedingt veränderten Gangbildes geführt hätte.

Hunde unter 4 kg wurden aufgrund der Sensitivität der Kraftmessplatten von der Studie ausgeschlossen. Die untere Altersgrenze wurde bei 12 Monaten festgesetzt. Bei Patienten zwischen 12 und 18 Monaten wurde anhand der radiologischen Untersuchung überprüft, ob die Wachstumsfugen vollständig geschlossen waren. Ab dem Alter von 18 Monaten wurde davon ausgegangen, dass alle Wachstumsfugen vollständig geschlossen waren (Waibl et al. 2005). Eine

Altersobergrenze wurde nicht näher festgelegt, solange das Tier nach Angaben des Besitzers munter und agil war. Hinsichtlich des Geschlechts wurde nicht selektiert.

### **1.2. Klinische Untersuchung**

Alle Patienten wurden von derselben Person untersucht. Es erfolgte zunächst eine allgemeine Untersuchung, um den Gesundheitszustand des Tieres einschätzen zu können. Auffälligkeiten des Herz-Kreislauf-Systems, die auf eine reduzierte Leistungsfähigkeit des Tieres hindeuteten, führten zum Ausschluss aus der Studie. Im Anschluss wurden die Tiere orthopädisch und neurologisch untersucht. Die orthopädische Untersuchung nach Arthurs (2011a, 2011b) war auf die Wirbelsäule konzentriert, jedoch wurden die Vorder- und Hintergliedmaßen ebenfalls untersucht, um weitere orthopädische Probleme ausfindig zu machen bzw. auszuschließen. Hunde mit orthopädischen Problemen wurden ausgeschlossen. Um die Tiere später miteinander vergleichen zu können wurden am stehenden Tier zudem die Rückenlänge, die Widerrist- und die Kruppenhöhe vermessen sowie das Körpergewicht erhoben. Im Rahmen der neurologischen Untersuchung wurden neben der Propriozeption auch die spinalen Reflexe aller vier Gliedmaßen getestet.

### **1.3. Röntgenologische Untersuchung**

Auf die klinische Untersuchung folgte eine röntgenologische Untersuchung (Röntgengerät Axiom Luminos dRF, Firma Siemens). Bei Gruppe 1 wurden neben der gesamten Wirbelsäule in zwei Ebenen (laterolateral und ventrodorsal) zusätzlich die großen Gelenke der Vorder- und Hintergliedmaßen (Schulter-, Ellbogen-, Hüft-, Knie- und Tarsalgelenk) geröntgt. Bei Gruppe 2 wurden Röntgenaufnahmen der gesamten Wirbelsäule angefertigt. Die Aufnahmen erfolgten am wachen Patienten (Lagerung nach Waibl et al. 2005). Bei Patienten, die zuvor in der orthopädischen Untersuchung Auffälligkeiten im Bereich der Gliedmaßen gezeigt hatten, wurde das betroffene Gelenk ebenfalls geröntgt. Die Auswertung der Röntgenbilder erfolgte gemeinsam mit einem Radiologiespezialisten. Arthrotische Veränderungen im Bereich der Wirbelsäule sowie überzählige Wirbel, Keil- und Blockwirbel führten bei Gruppe 1 zum Ausschluss von der Studie, ebenso wie mittel- oder hochgradige arthrotische Veränderungen im Bereich der großen Gelenke der Vorder- und

Hintergliedmaßen. Aus Gruppe 2 ausgeschlossen wurden Patienten bei Vorliegen von Block- und Keilwirbeln, ebenso bei mittel- oder hochgradigen Veränderungen der Gelenke der Vorder- und Hintergliedmaßen. Arthrotische Veränderungen der Wirbelsäule oder überzählige Wirbel hingegen führten nicht zum Ausschluss von der Studie. Das Vorliegen einer Enchondrosis intervertebralis war in keiner der beiden Gruppen ein Ausschlusskriterium. Insgesamt sollten pro Gruppe 20 Hunde in die Studie mit eingeschlossen werden.

## **2. Ganganalytische Untersuchung**

### **2.1. Das Ganglabor**

Die ganganalytische Untersuchung wurde im Ganglabor der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München durchgeführt (siehe Abb. 11). Der zu diesem Zweck verwendete Raum kann abgedunkelt und künstlich beleuchtet werden, um eine optimale Aufnahme gewährleisten zu können. Das Laufband befindet sich in der Mitte des Raumes. Es ist in ein Podest eingelassen und besteht aus 2 rutschfesten Kunststoffbändern, die auf einer Fläche von 140 x 80 cm zu sehen sind. Die Geschwindigkeit der Bänder kann manuell über eine Software der Firma Simi Reality Motion Systems GmbH, Unterschleißheim, Deutschland in Schritten von 0,02 m/s gesteuert werden. Unterhalb der Bänder befinden sich vier modifizierte piezoelektrische Kistler-Kraftmessplatten. Diese sind über einen Verstärker und einen Signalwandler mit dem Computer verbunden und erlauben Messungen aller drei Kraftkomponenten (x, y und z). Zeitgleich erfolgt die Messung der Bodenreaktionskräfte synchron mit 1000 Hz.

Die Laufbandaufnahmen erfolgten mit der Software Vicon Nexus 1.7.1 (Vicon Motion Systems Ltd, Oxford, UK). Während der ganganalytischen Untersuchung konnten parallel zu den kinetischen Parametern auch die kinematischen Parameter erhoben werden. Dies erfolgte mittels sechs Highspeed-Infrarot-Kameras Vicon MX3+ (Vicon Motion Systems Ltd, Oxford, UK), welche die Reflexion der angebrachten Marker aufnahmen. Zusätzlich befinden sich insgesamt neun digitale Kameras (Sony Exwave HAD) um das Laufband herum angeordnet, um die Bewegung des Patienten auf dem Laufband filmen zu können.



**Abb. 11: Ganganalyselabor der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München.**

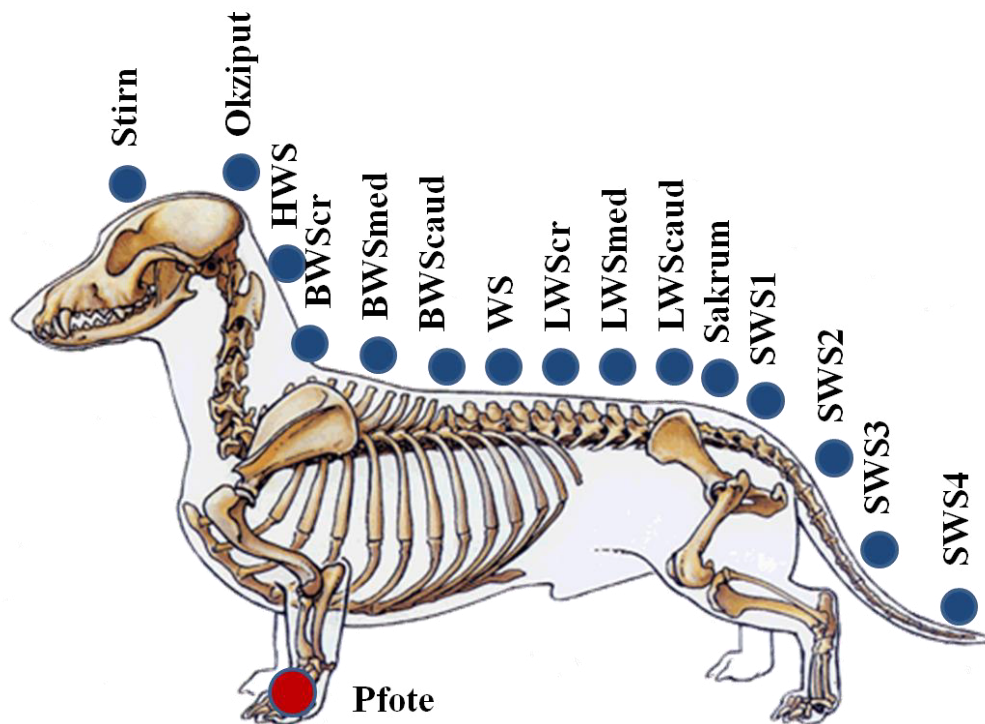
## **2.2. Durchführung**

### **2.2.1 Gewöhnung des Patienten**

Die ausgewählten Patienten wurden zunächst für eine individuelle Zeit auf dem Laufband geführt (wahlweise durch den Besitzer oder einen Klinikmitarbeiter), um sich daran zu gewöhnen. Die Hunde wurden locker am Halsband geführt, die führende Person saß dabei vor dem Hund, sodass dieser auf sie zulief. Patienten, die sich gegen das Laufen sperrten, wurden von der Studie ausgeschlossen.

### **2.2.2 Positionierung der Marker**

Hatten sich die Hunde an das Gehen auf dem Laufband gewöhnt, wurden die reflektierenden Marker angebracht. Die Marker wurden mittels doppelseitigem Klebebands auf dem Haarkleid der Hunde angebracht und gegebenenfalls zusätzlich mit Haarspangen befestigt, sodass keine Eigenbewegung mehr möglich war. Die Positionierung der Marker orientierte sich an dem Markermodell der Studie von Layer (2012), um später einen Vergleich zwischen den beiden Gruppen erstellen zu können (siehe Abb. 12 und Tab. 2). Dazu wurde die komplette Wirbelsäule mit Markern versehen, zusätzlich wurde ein Marker an der rechten Vorderpfote angebracht, um später die Rückenbewegung auf den Schrittzyklus beziehen zu können.



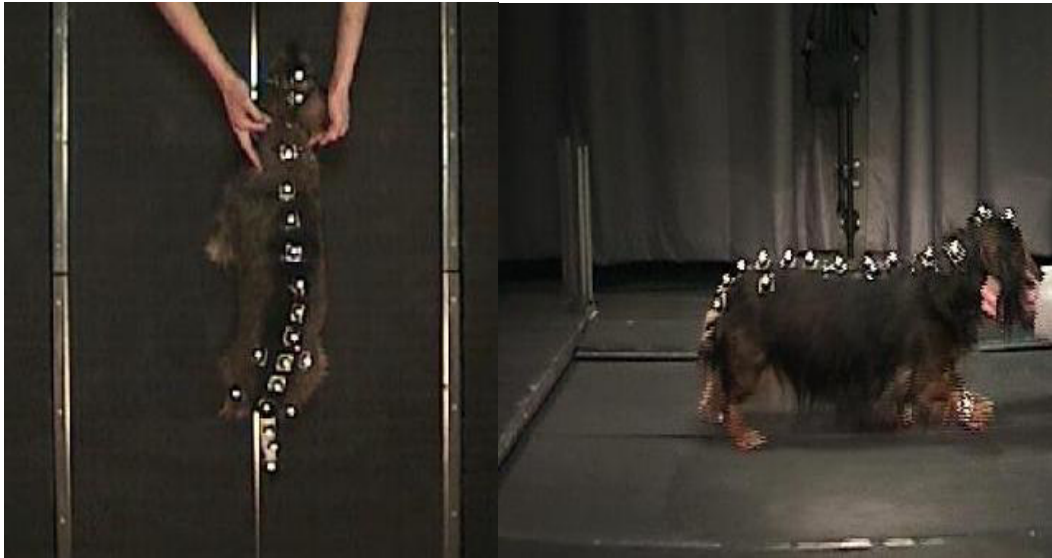
**Abb. 12:** Positionierung der Wirbelsäulenmarker sowie des Pfotenmarkers (hier symbolisch an der linken Vorderpfote dargestellt) an palpierbaren Knochenpunkten des Skeletts; Schema des Hundeskeletts von Matthias Haab (2009).

**Tab. 2: Positionierung und Benennung der Marker.**

Benennung Marker	Anatomische Position Marker
Stirn	Os frontale
Okziput	Os interparietale
HWS	Dornfortsatz des 3. Halswirbels
BWScr	Dornfortsatz des 3. Brustwirbels
BWSmed	Dornfortsatz des 6. Brustwirbels
BWScaud	Dornfortsatz des 10. Brustwirbels
WS	Dornfortsatz des 13. Brustwirbels
LWScr	Dornfortsatz des 3. Lendenwirbels
LWSmed	Dornfortsatz des 5. Lendenwirbels
LWScaud	Dornfortsatz des 7. Lendenwirbels
Sacrum	Mitte des Os sacrum
SWS1	Schwanzbasis
SWS2-4	Auf den restlichen Schwanz wurden je nach Länge noch zwei oder drei weitere Marker angebracht, hierbei wurde die Länge des Schwanzes halbiert oder gedrittelt
Pfote	Lateral am Metacarpus der 5. Zehe vorne rechts

### 2.2.3 Untersuchungsgang

Nach Positionierung der Marker auf dem Hund begann der Untersuchungsgang (siehe Abb. 13). Jeder Hund wurde während einer gleichmäßigen Gangphase gefilmt. Es wurde auf die korrekte Positionierung des Hundes auf dem Laufband geachtet, sodass die Pfote jeder Gliedmaße jeweils auf einer Kraftmessplatte positioniert war. Alle Hunde wurden mit einer Geschwindigkeit von 0,6–0,7 m/s im Schritt und 1,0–1,1 m/s im Trab untersucht. Der gesamte Untersuchungsgang einschließlich Eingewöhnung und Anbringen der Marker dauerte je nach Patient 30–45 Minuten.



**Abb. 13: Dackel auf dem Laufband während eines Untersuchungsganges mit aufgebrachten Markern.**

### 2.3. Datenverarbeitung und statistische Auswertung

Im Anschluss an die Aufnahme wurden die gewonnenen Daten kinetisch und kinematisch ausgewertet. Die kinematische Auswertung erfolgte mittels der Software Vicon Nexus 1.7.1 (Vicon Motion Systems Ltd, Oxford, UK). Zunächst wurden die Marker digital rekonstruiert und mittels des verwendeten Markermodells benannt (siehe Abb. 14).



**Abb. 14: Rekonstruiertes Markermodell mit Benennung der einzelnen Wirbelsäulenmarker.**



Für die statistische Auswertung wurden anhand der grafischen Darstellung der Markerbewegung 15 Schritte ausgewählt, während derer der Patient gleichmäßig ging. Anhand der kinetischen Werte, die in Vicon Nexus 1.7.1 (Vicon Motion Systems Ltd, Oxford, UK) ebenfalls grafisch dargestellt werden können, wurde Beginn und Ende der 15 Schritte festgelegt, um die Rückenbewegung später auf den Schrittzzyklus beziehen zu können. Der Beginn eines Schrittzzyklus wurde definiert als Beginn der Standphase der rechten Vordergliedmaße. Für die Auswertung der Rückenbewegung wurden die Marker BWScr, BWSmed, BWScaud, WS, LWScr, LWSmed, LWScaud, Sacrum und SWS1 verwendet. Die ersten drei Marker Stirn, Okziput und HWS wurden nicht in die Auswertung mit einbezogen, da es durch das Führen der Hunde am Halsband zu einer Beeinflussung der Markerbewegung kam. Die Koordinaten der 9 Marker wurden für 15 Schritte aus der Software Vicon Nexus 1.7.1 (Vicon Motion Systems Ltd, Oxford, UK) heraus in eine ASCII-Datei exportiert, um sie dann mittels Excel-Tabellen weiterbearbeiten zu können. Für jeden Marker wurde jeweils seine Bewegung in der Transversalebene als x-Wert und in der Sagittalebene als z-Wert angegeben. Um die absolute Position im Raum vernachlässigen zu können, wurde der Mittelwert aller x- bzw. z-Werte eines Schrittzzyklus ermittelt und vom jeweils individuellen Wert abgezogen. Darüber hinaus wurde jeder Schrittzzyklus auf 100 % genormt, um die Hunde innerhalb einer Gruppe trotz unterschiedlich langer Schrittdauer miteinander vergleichen zu können. Sowohl in der Sagittal- als auch in der Transversalebene wurde dann für jeden Marker für die 15 Schritte der Mittelwert zu jedem Zeitpunkt des Schrittzzyklus ermittelt. Anhand der erstellten Mittelkurve beider Ebenen wurden die maximalen Markerpositionen in beiden Richtungen sowie der Zeitpunkt ihres Auftretens (TOO) ermittelt. Die Differenz zwischen dem Auftreten der Maxima wurde berechnet. Zudem wurde aus der Summe der beiden Maxima der gesamte Bewegungsumfang (ROM) eines Markers berechnet.

Für die kinetische Auswertung wurde die Software Vicon Nexus 1.7.1 (Vicon Motion Systems Ltd, Oxford, UK) und QuadruPedLocomotion verwendet. Für jede Gliedmaße wurden innerhalb einer Sequenz, in der das Tier gleichmäßig ging, die Schritte ausgewählt, bei denen das Tier eine korrekte Fußung zeigte, sprich nur eine Pfote Kontakt zu der betreffenden Kraftmessplatte hatte. Pro Gliedmaße wurden zwischen 10 und 127 Schritte ausgewertet. Die kinetischen

und kinematischen Werte dieser Schritte wurden einzeln und als Mittelwert angegeben. Es wurden die kinetischen Parameter PVF, VI, die Standphasendauer und die Gewichtsverteilung der PVF und des VI errechnet. Daraufhin wurden die Mittelwerte der Vorder- bzw. Hintergliedmaßen grafisch und rechnerisch miteinander verglichen, um so eine okkulte Lahmheit detektieren zu können. Symmetrie-Indizes (SI) von  $> 9$  (PVF) bzw.  $> 10$  (VI) wurden als Lahmheit gewertet. Die prozentuale Verteilung der Gewichtsaufnahme zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen wurde mittels folgender Formel berechnet:

$$FD = \left( \frac{PVF \text{ Vg} \text{ li} + PVF \text{ Vg} \text{ re}}{PVF \text{ Vg} \text{ li} + PVF \text{ Vg} \text{ re} + PVF \text{ Hg} \text{ li} + PVF \text{ Hg} \text{ re}} \right) * 100$$

FD = Force distribution (Gewichtsverteilung)

PVF Vg li/re = Peak vertical force linke bzw. rechte Vordergliedmaße

PVF Hg li/re = Peak vertical force linke bzw. rechte Hintergliedmaße

Ersetzt man PVF durch den Wert des VI so erhält man die prozentuale Gewichtsverteilung des VI.

Die Videoaufnahmen wurden dazu verwendet, gleichmäßige Schrittsequenzen ausfindig zu machen und dienten darüber hinaus der Dokumentation.

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm SPSS (IBM SPSS Statistics 19.0). Alle untersuchten Variablen wurden mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnoff-Testes auf Normalverteilung getestet. Der Mittelwertvergleich erfolgte sowohl für abhängige als auch für unabhängige Variablen mit dem zweiseitigen T-Test. Das Signifikanzniveau wurde als  $\alpha = 0,05$  festgelegt,  $p < 0,05$  wurde als signifikant angesehen. Alle Werte wurden – soweit nicht anders angegeben – für beide Gruppen gemittelt (arithmetisches Mittel). Zu jedem Mittelwert (MW) werden zudem die Standardabweichung ( $\pm$ ) sowie der minimale (Min) und der maximale (Max) Wert einer Gruppe genannt. Um einen aussagekräftigen Vergleich zwischen den beiden Gruppen ziehen zu können, wurden die absoluten Werte der Rückenbewegung in beiden Ebenen in Bezug zur Rückenlänge gesetzt und als Prozentsatz derselben wiedergegeben (Bewegungsumfang = Bewegung in mm \* 100 / Rückenlänge in mm).

## **IV. ERGEBNISSE**

### **1. Patientengut**

Das Patientengut wurde in zwei Gruppen aufgeteilt: In die Gruppe 1 (gesund) wurden zunächst 28 Hunde der Rasse Dackel eingeschlossen, von denen letztlich 21 Hunde aufgrund der oben genannten Ausschlusskriterien aufgenommen werden konnten. Ein Dackel wurde aufgrund einer in der orthopädischen Untersuchung auffallenden Patellaluxation Grad III nach medial ausgeschlossen und insgesamt sechs Dackel zeigten in der radiologischen Untersuchung Auffälligkeiten, die zum Ausschluss führten (siehe Tab. 3). In die Gruppe 2 (krank) wurden zunächst 16 Dackel, die das Haupteinschlusskriterium eines Bandscheibenvorfalles im Bereich der Brust- oder Lendenwirbelsäule erfüllten, eingeschlossen. Um eine ausreichend große Anzahl an Hunden für den späteren Vergleich zu erhalten, war es für Gruppe 2 notwendig, andere Vertreter der chondrodystrophen Rassen mit in die Untersuchung einzubeziehen. So setzte sich Gruppe 2 letztlich zusammen aus 19 Hunden, davon 16 Dackel, 1 Beagle, 1 Havaneser und 1 Jack Russel Terrier. In der klinischen und neurologischen Untersuchung ergaben sich bei keinem der Hunde beider Gruppen pathologischen Befunde. Folgende Tabelle 3 zeigt die radiologischen Befunde allerer Hunde, die radiologische Auffälligkeiten aufwiesen, sowie die Anzahl der Hunde, die den jeweiligen radiologischen Befund aufwiesen (wobei teilweise mehrere radiologische Befunde pro Hund auftraten).

**Tab. 3: Radiologische Befunde der Probanden mit radiologischen Auffälligkeiten.**

<b>Erhobene Befunde</b>	<b>Gruppe 1 (gesund) (n = 14)</b>	<b>Gruppe 2 (krank) (n = 16)</b>
Enchondrosis intervertebralis	n = 10 Kein Ausschluss	n = 13 Kein Ausschluss
Spondylosen	n = 3 Ausschluss	n = 7 (davon 4 OP- Stellen assoziiert) Kein Ausschluss
Übergangswirbel	n = 1 Ausschluss	n = 1 kein Ausschluss
Überzählige Wirbel	n = 3 Ausschluss	n = 2 kein Ausschluss
Ggr. arthrotische Veränderungen der großen Gelenke der Gliedermaßen	n = 5 kein Ausschluss	n = 0
Mgr. - hgr. arthrotische Veränderungen der großen Gelenke der Gliedermaßen	n = 1 Ausschluss	n = 0

Alle untersuchten Tiere waren problemlos auf dem Laufband zu führen.

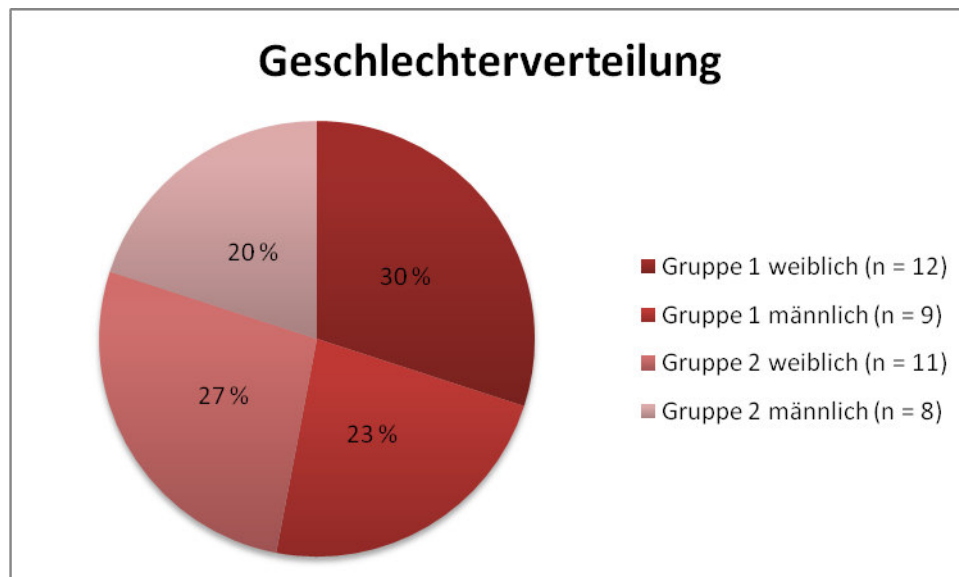
Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt die Merkmale aller Tiere gemittelt und nach Gruppen getrennt (Die Einzelwerte aller Hunde sind Tabelle 36 im Anhang zu finden). Alter und Gewicht waren innerhalb der beiden Gruppen gleichmäßig verteilt. Die Rückenlänge der gesunden Dackel (MW 33,5 cm) war prozentual betrachtet um 16,1 % länger als die der kranken Dackel (MW 28,1 cm). Mit einem p-Wert von 0,002 ist dieser Unterschied eindeutig signifikant. Die Widerristhöhe der gesunden Dackel war geringfügig höher, die Kruppenhöhe

geringfügig niedriger als die der kranken Dackel. Betrachtet man das Verhältnis von Rückenlänge zu Kruppenhöhe bzw. das Verhältnis von Rückenlänge zu Widerristhöhe, so wird deutlich, dass die Gruppe der gesunden Dackel im Verhältnis zur Beinlänge einen längeren Rücken aufweist.

**Tab. 4: Grunddaten der Probanden.**

Gruppe 1 (gesund) (n = 21)								
Merkmal	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	RL (cm)	KR (cm)	WR (cm)	RL/KR	RL/ WR	
MW	4,0	9,0	33,5	25,8	26,5	1,3	1,3	
±	1,8	1,8	5,2	2,6	2,2	0,2	0,2	
Min	1,4	6,1	27,0	20,0	21,0	1,0	0,9	
Max	8,2	11,2	44,0	31,0	30,0	1,7	1,6	
Gruppe 2 (krank) (n = 19)								
Merkmal	Alter (Jahre)	Alter bei OP (Jahre)	Gewicht (kg)	RL (cm)	KR (cm)	WR (cm)	RL/ KR	RL/ WR
MW	7,8	5,5	8,2	28,1	26,8	25,5	1,1	1,1
±	2,1	1,7	2,8	5,0	4,6	4,5	0,2	0,2
Min	4,2	3,1	4,0	21,0	22,0	21,0	0,9	0,8
Max	11,6	7,4	16,7	39,0	43,0	42,0	1,4	1,5

Die Geschlechterverteilung in beiden Gruppen war annähernd (siehe Abb. 15 ).



**Abb. 15: Geschlechterverteilung der Probanden.**

Die Lokalisation des Bandscheibenvorfalles, sowie die Lateralisation der Hemilaminektomie aller Hunde aus Gruppe 2 sind in Tabelle 37 im Anhang aufgeführt).

## **2. Kinetik**

Die Auswertung der kinetischen Parameter erfolgte für beide Gruppen im Trab, da frühere Studien gezeigt haben, dass hier subklinische Lahmheiten besser detektiert werden können als im Schritt (Voss et al. 2007). Für vier erkrankte Dackel, die auf dem Laufband nicht traben wollten, erfolgte die Auswertung im Schritt. Diese Patienten sind somit nicht mit den restlichen Patienten vergleichbar und werden von den nachfolgenden Untersuchungen ausgeschlossen.

### **2.1. Zeitliche Parameter**

Die mittlere Standphasendauer der Hintergliedmaßen unterschied sich in beiden Gruppen nicht signifikant (siehe Tab. 5). Die mittlere Standphasendauer der Vordergliedmaßen der kranken Dackel unterschied sich signifikant, jedoch bewegten sich die Unterschiede in einem klinisch nicht relevanten Bereich ( $< 5\%$ ).

**Tab. 5: Mittlere Standphasendauer der einzelnen Gliedmaßen für beide Gruppen.**

Gruppe 1 (gesund) (n = 21)				
Standphasendauer (% eines Schrittzyklus)	Vorne rechts	Vorne links	Hinten rechts	Hinten links
MW	56,4	56,3	49,5	49,6
±	4,7	4,8	5,8	6,5
Min	51,0	47,7	37,0	35,5
Max	66,5	66,5	61,0	60,6
p-Wert (Vergleich links/rechts)	0,929		0,824	
Gruppe 2 (krank) (n = 15)				
Standphasendauer (% eines Schrittzyklus)	Vorne rechts	Vorne links	Hinten rechts	Hinten links
MW	59,7	58,3	49,7	49,9
±	4,6	4,0	3,4	5,0
Min	49,0	50,0	45,5	42,0
Max	67,0	64,0	58,5	60,5
p-Wert (Vergleich links/rechts)	0,009		0,794	

Für die weiterführenden Berechnungen wurde der Mittelwert zwischen der Standphasendauer der Vorder- bzw. Hintergliedmaßen gebildet und dieser dann zwischen den beiden Gruppen verglichen (siehe Tab. 6). Die mittlere Standphasendauer der Vordergliedmaßen war verglichen mit den

Hintergliedmaßen in beiden Gruppen signifikant länger. Im Gruppenvergleich zeigt die Gruppe der kranken Dackel sowohl für die Vorder- als auch für die Hintergliedmaßen eine längere Standphasendauer. Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant.

**Tab. 6: Mittlere Standphasendauer der Vorder- und Hintergliedmaßen im Gruppenvergleich.**

Gruppe 1 (gesund) (n = 21)		
Standphasendauer (%) eines Schrittzyklus)	Vordergliedmaßen	Hintergliedmaßen
MW	56,4	49,6
±	4,6	6,1
Min	49,4	36,3
Max	66,5	60,3
p-Wert Gliedermaßenvergleich	0,000	
Gruppe 2 (krank) (n = 15)		
Standphasendauer (%) eines Schrittzyklus)	Vordergliedmaßen	Hintergliedmaßen
MW	58,1	50,4
±	4,8	4,6
Min	49,5	43,8
Max	65,5	59,5
p-Wert Gliedermaßenvergleich	0,000	
p-Wert Gruppenunterschied	0,273	0,662



Nachfolgend wird das Verhältnis der mittleren Standphasendauer der Vordergliedmaßen zu den Hintergliedmaßen gezeigt (siehe Tab. 7). Hierfür wurde die mittlere Standphasendauer der Vordergliedmaßen durch die der Hintergliedmaßen geteilt. Das Verhältnis der Standphasendauer zwischen Vorder- und Hintergliedmaße unterschied sich zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant.

**Tab. 7: Verhältnis der mittleren Standphasendauer zwischen Vorder- und Hintergliedmaße im Gruppenvergleich.**

Gruppe	1 (gesund) (n = 21)	2 (krank) (n = 15)
MW	1,2	1,2
±	0,2	0,1
Min	1,0	0,9
Max	1,7	1,4
p-Wert Gruppenunterschied	0,893	

Nachfolgend wurden in der Gruppe der kranken Dackel die Hintergliedmaßen nach Lokalisation bzw. Lateralisation der Hemilaminektomie in zwei Gruppen (betroffene Hintergliedmaße und kontralaterale Hintergliedmaße) unterteilt und miteinander verglichen (siehe Tab. 8). Ein Hund musste von diesem Vergleich ausgeschlossen werden, da er sowohl links- als auch rechtsseitig hemilaminektomiert wurde. Die mittlere Standphasendauer der betroffenen Hintergliedmaßen war im Vergleich zur kontralateralen Seite verkürzt. Dieser Unterschied war nicht signifikant und bewegte sich in einem klinisch nicht relevanten Bereich. Die Einzelwerte der Hund sind in Tabelle 42 im Anhang aufgeführt.

**Tab. 8: Mittlere Standphasendauer der betroffenen und kontralateralen Hintergliedmaße der kranken Dackel im Vergleich.**

Standphasendauer (%) eines Schrittzyklus)	Hintergliedmaße der Seite des BSV (n = 14)	Kontralaterale Hintergliedmaße (n = 14)
<b>MW</b>	<b>49,7</b>	<b>50,1</b>
$\pm$	4,3	4,8
Min	44,0	42,0
Max	58,5	60,5
p-Wert	0,465	

## 2.2. Kräfte (PVF, VI, prozentuale Gewichtsverteilung)

Untersucht wurden im Folgenden die PVF sowie der VI. Zunächst wurden für beide Gruppen die vertikale Spitzenkraft und der vertikale Impuls für jede Gliedmaße angegeben (siehe Tab. 9 und Tab. 10). Sowohl die PVF als auch der VI der beiden Vorder- bzw. Hintergliedmaßen unterschied sich in beiden Gruppen nicht signifikant.

**Tab. 9: Vergleich der vertikalen Spitzenkraft aller Gliedmaßen für beide Gruppen.**

Gruppe 1 (gesund) (n = 21)				
PVF (% KGW)	Vorne rechts	Vorne links	Hinten rechts	Hinten links
MW	86,6	87,2	56,8	57,2
±	15,0	16,1	7,5	7,5
Min	51,9	56,4	39,1	39,9
Max	108,1	115,9	66,4	68,2
p-Wert (Vergleich links/rechts)	0,439		0,418	
Gruppe 2 (krank) (n = 15)				
PVF (% KGW)	Vorne rechts	Vorne links	Hinten rechts	Hinten links
MW	93,6	94,0	54,2	53,6
±	13,9	11,1	8,5	9,0
Min	67,4	72,8	41,6	38,9
Max	115,1	109,7	68,2	72,1
p-Wert (Vergleich links/rechts)	0,781		0,507	

**Tab. 10: Vergleich des Impulses der vertikalen Bodenreaktionskraft aller Gliedmaßen für beide Gruppen.**

Gruppe 1 (gesund) (n = 21)				
VI(% KGW * s)	Vorne rechts	Vorne links	Hinten rechts	Hinten links
MW	15,8	15,9	8,3	8,3
±	3,3	3,1	1,8	1,8
Min	10,0	9,4	5,3	4,9
Max	22,3	21,8	12,4	12,0
p-Wert (Vergleich links/rechts)	0,611		0,849	
Gruppe 2 ( krank) (n = 15)				
VI(% KGW * s)	Vorne rechts	Vorne links	Hinten rechts	Hinten links
MW	18,3	18,1	7,9	7,8
±	3,1	2,9	1,4	2,0
Min	13,0	12,8	5,5	4,1
Max	24,6	25,0	10,1	10,7
p-Wert (Vergleich links/rechts)	0,410		0,442	

Für die weiterführenden Berechnungen wurde daher der Mittelwert zwischen der vertikalen Spitzenkraft bzw. des vertikalen Impulses der Vorder- bzw. Hintergliedmaßen gebildet und dieser dann zwischen den beiden Gruppen verglichen (siehe Tab. 11). Die PVF und der VI der Vordergliedmaßen waren im Vergleich zu den Hintergliedmaßen für beide Gruppen signifikant vergrößert. Darüber hinaus zeigte die Gruppe der kranken Dackel verglichen mit den

---

gesunden Dackeln sowohl für die PVF als auch für den VI für die Vordergliedmaße größere, für die Hintergliedmaße kleinere Werte. Die Unterschiede waren hierbei für den VI der Vordergliedmaße signifikant.

**Tab. 11: Vergleich der vertikalen Spitzenkraft bzw. des vertikalen Impulses der Vorder- und Hintergliedmaßen zwischen beiden Gruppen.**

Gruppe 1 (gesund) (n = 21)				
Parameter	PVF (%) KGW)	PVF (%) KGW)	VI (%) KGW * s)	VI (%) KGW * s)
Lokalisation	vorne	hinten	vorne	hinten
MW	86,9	57,0	15,8	8,3
±	15,5	7,4	3,1	1,8
Min	54,2	39,5	9,7	5,1
Max	112,0	66,8	22,1	12,2
p-Wert Gliedermaßenvergleich	0,000		0,000	
Gruppe 2 (krank) (n = 15)				
Parameter	PVF (%) KGW)	PVF (%) KGW)	VI (%) KGW * s)	VI (%) KGW * s)
Lokalisation	vorne	hinten	vorne	hinten
MW	93,8	53,9	18,2	7,9
±	12,3	8,6	3,0	1,7
Min	70,7	41,4	13,1	5,0
Max	111,0	70,2	24,8	10,3
p-Wert Gliedermaßenvergleich	0,000		0,000	
p-Wert Gruppenvergleich	0,163	0,256	0,029	0,426

Nachfolgend wurden wie bereits für die Standphasendauer geschildert in der Gruppe der kranken Dackel die Hintergliedmaßen in zwei Gruppen (betroffene und kontralaterale Hintergliedmaße) unterteilt und miteinander verglichen (siehe Tab. 12). Sowohl die PVF als auch der vertikale Impuls waren für die betroffene Gliedmaße im Vergleich zur kontralateralen Seite niedriger. Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant und in einem nicht klinisch relevanten Ausmaß (Einzelwerte siehe Tabelle 42 im Anhang).

**Tab. 12: PVF und VI der betroffenen und kontralateralen Hintergliedmaße der kranken Dackel im Vergleich.**

Parameter	PVF (%) (KGW)	PVF (%) (KGW)	VI (% KGW * s)	VI (% KGW * s)
Lokalisation	Hintergliedmaße der Seite des BSV (n = 14)	Kontralaterale Gliedmaße (n = 14)	Hintergliedmaße der Seite des BSV (n = 14)	Kontralaterale Gliedmaße (n = 14)
<b>MW</b>	<b>54,4</b>	<b>55,2</b>	<b>7,6</b>	<b>7,9</b>
±	7,3	9,3	1,4	2,0
Min	41,6	38,9	5,5	4,1
Max	68,2	72,1	10,1	10,7
p-Wert	0,441		0,182	

Zusätzlich wurde die prozentuale Verteilung der Gewichtsaufnahme zwischen Vorder- und Hintergliedmaße für die PVF und den VI berechnet. Nachfolgende Tabelle 13 zeigt die prozentuale Gewichtsverteilung beider Gruppen für die PVF und den VI. Die Gruppe der gesunden Dackel zeigte eine ungefähre Gewichtsaufnahme von 60 % im Bereich der Vordergliedmaßen und 40 % im Bereich der Hintergliedmaßen. Im Gruppenvergleich zeigte die Gruppe der kranken Dackel eine stärkere Gewichtsaufnahme im Bereich der Vordergliedmaßen sowie eine geringere Gewichtsaufnahme im Bereich der Hintergliedmaßen. Die Unterschiede waren für beide Parameter signifikant.

**Tab. 13: Prozentuale Gewichtsverteilung der PVF und des VI zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen im Gruppenvergleich.**

Gruppe 1 (gesund) (n = 21)				
Parameter	FD vorne	PVF hinten	FD VI vorne	FD VI hinten
MW	60,2	39,9	65,0	35,0
±	4,1	4,1	7,6	7,6
Min	52,1	32,6	51,0	18,8
Max	67,4	47,9	81,2	49,0
Gruppe 2 (krank) (n = 15)				
Parameter	FD vorne	PVF hinten	FD VI vorne	FD VI hinten
MW	63,5	36,5	69,8	30,2
±	4,7	4,7	5,8	5,8
Min	54,9	27,9	62,1	18,5
Max	72,1	45,1	81,5	37,9
p-Wert Gruppenvergleich	0,016	0,016	0,025	0,025

Zur Detektion einer subklinischen Lahmheit wurde der Symmetrie-Index nach Robinson (1987) für die vertikale Spitzenkraft und den vertikalen Impuls berechnet (siehe Tab. 14). Die Gruppe der gesunden Dackel ist als lahmheitsfrei einzustufen. In der Gruppe der kranken Dackel zeigten insgesamt 3 Tiere eine Lahmheit, davon eine Lahmheit der Vordergliedmaßen (SI PVF 9,3 und SI VI 1,3) und 2 Lahmheiten der Hintergliedmaßen (SI PVF 6,4 und 20,3 sowie SI VI 21,3 sowie 37,3). Die restlichen Tiere sind als lahmheitsfrei eingestuft, die Mittelwerte der gesamten Gruppe sind ebenfalls als lahmheitsfrei einzustufen. Im Vergleich der beiden Gruppen miteinander ergeben sich darüber hinaus keine signifikanten Unterschiede.



**Tab. 14: Symmetrie-Indices der beiden Gruppen für die Parameter vertikale Spitzenkraft und vertikaler Impuls der Vorder- und Hintergliedmaßen.**

<b>Gruppe 1 (gesund) (n = 21)</b>				
Parameter	Vertikale Spitzenkraft		Vertikaler Impuls	
Lokalisation	vorne	hinten	vorne	hinten
<b>MW</b>	<b>3,1</b>	<b>3,2</b>	<b>4,4</b>	<b>5,2</b>
$\pm$	2,1	2,0	3,0	2,5
Min	0,4	0,4	0,9	0,5
Max	8,3	8,9	9,0	8,5
<b>Gruppe 2 (krank) (n = 15)</b>				
Parameter	Vertikale Spitzenkraft		Vertikaler Impuls	
Lokalisation	vorne	hinten	vorne	hinten
<b>MW</b>	<b>4,6</b>	<b>4,7</b>	<b>4,1</b>	<b>8,6</b>
$\pm$	3,2	4,9	2,5	9,5
Min	0,0	0,2	0,3	0,2
Max	9,3	20,3	8,0	37,3
p-Wert (Gruppenvergleich)	0,131	0,221	0,730	0,192

Die durchgeführten Berechnungen der Standphasendauer, der vertikalen Spitzenkraft und des vertikalen Impulses wurden zur Kontrolle jeweils auch unter Ausschluss der drei Patienten, die eine Lahmheit zeigten, durchgeführt. Es ergaben sich hierbei keine nennenswerten Unterschiede in den Ergebnissen, sodass entschieden wurde, die Patienten mit in die Berechnungen einzubeziehen (Einzelwerte siehe Tabelle 41 im Anhang). Für die vier Patienten, die auf dem Laufband nicht traben wollten, wurde die Auswertung im Schritt vorgenommen (Einzelwerte siehe Tabelle 40 im Anhang). Zwei Patienten zeigten eine Lahmheit (davon einer im Bereich der Vorder- und Hintergliedmaßen und einer im Bereich der Hintergliedmaßen), zwei waren als lahmheitsfrei einzustufen. Ein Vergleich

mit vier zufällig ausgewählten Probanden aus der Gruppe der gesunden Dackel erschien aufgrund der geringen Gruppengröße und der hohen Varianz der Ergebnisse nicht sinnvoll und wurde daher nicht durchgeführt.

### 3. Kinematik

#### 3.1. Transversalebene

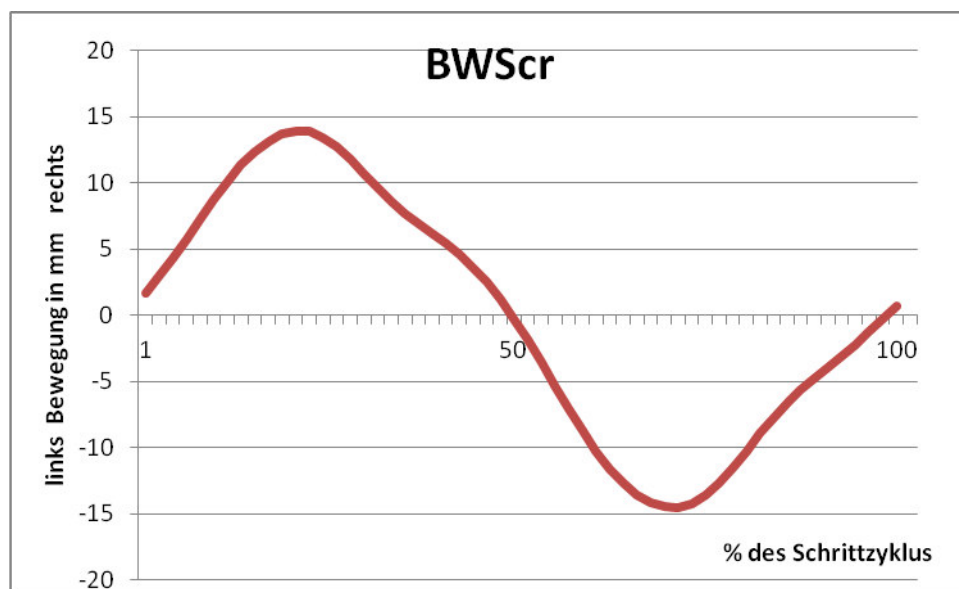
##### 3.1.1. Qualitative Beschreibung der transversalen Rückenbewegung

Nachfolgend wird zunächst die Bewegung des Rückens in der Transversalebene für die beiden Gruppen jeweils im Schritt und Trab beschrieben und diese dann miteinander verglichen.

##### 3.1.1.1. Schritt

##### 3.1.1.1.1. Einphasige Rückenbewegung

Die Rückenbewegung in der Transversalebene folgte bei beiden Gruppen grundsätzlich einem einphasigen Verlauf. Jeder Marker beschrieb während eines Schrittzklus einen Ausschlag nach links und einen Ausschlag nach rechts (siehe Abb. 16).

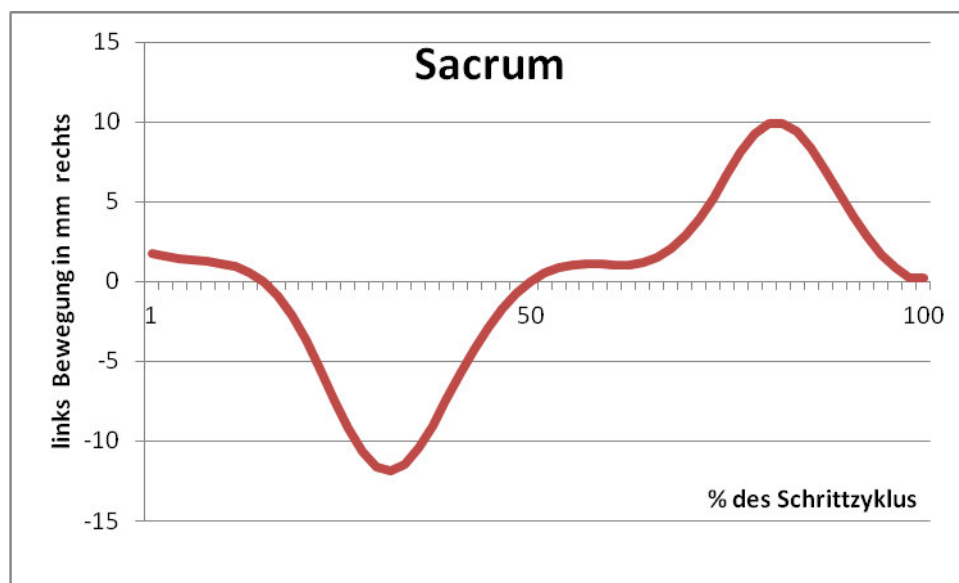


**Abb. 16: Mittlere Bewegung des Markers BWScr eines Hundes während eines Schrittzklus in der Transversalebene.**

Kurz nach dem Aufsetzen der rechten Vordergliedmaße (Beginn des Schrittzklus) zeigte der Marker seinen maximalen Ausschlag nach rechts.

Während der Standphase der rechten Vordergliedmaße fand dann eine Bewegung nach links statt, die ihren Maximalwert zum Zeitpunkt des Abfußens der rechten Vordergliedmaße erreichte. Während der Schwungphase der rechten Vordergliedmaße fand dann wieder eine Bewegung nach rechts statt.

Betrachtet man einen weiter kaudal auf der Wirbelsäule gelegenen Marker, so fiel auf, dass sich der Zeitpunkt des Auftretens der linken und rechten Maxima zeitlich nach hinten verschob. Ab dem Sacrum- und SWS1-Marker trat eine Umkehr der Maxima auf, die Bewegung des Markers erfolgte somit zunächst nach links und dann nach rechts (siehe Abb. 17).



**Abb. 17: Mittlere Bewegung des Sacrum-Markers desselben Hundes wie in Abb. 16 während eines Schrittzyklus in der Transversalebene, Umkehr der Maxima.**

Das Auftreten der Maxima innerhalb eines Schrittzyklus folgte einem gleichbleibenden zeitlichen Ablauf. Der Abstand zwischen den beiden Extremen betrug für alle einphasigen Marker im Schritt im Mittel 52,2 % (SD 5,2, Min 27,2, Max 71,1), dies war unabhängig von der Richtung der Bewegung. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen (Gruppe gesund MW 52,4 % mit SD 3,3, Min 45,1, Max 63,8, Gruppe krank MW 51,9 % mit SD 6,4, Min 27,3, Max 71,2). Nachfolgend wird der einphasige Bewegungsablauf eines Hundes anhand aller neun Wirbelsäulenmarker dargestellt, zu sehen ist die zeitliche Verlagerung des Auftretens der Minima und Maxima nach hinten sowie die Bewegungsumkehr im Bereich SWS1 (siehe Abb. 18a-i).

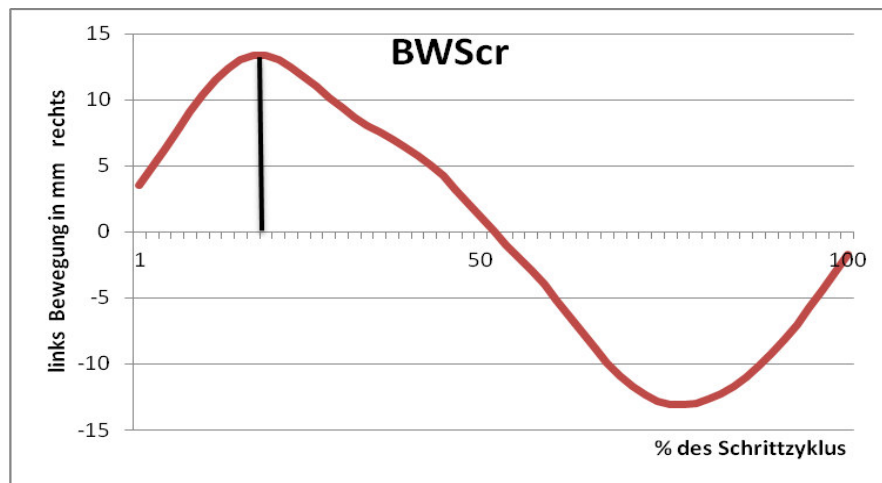


Abb. 18a)

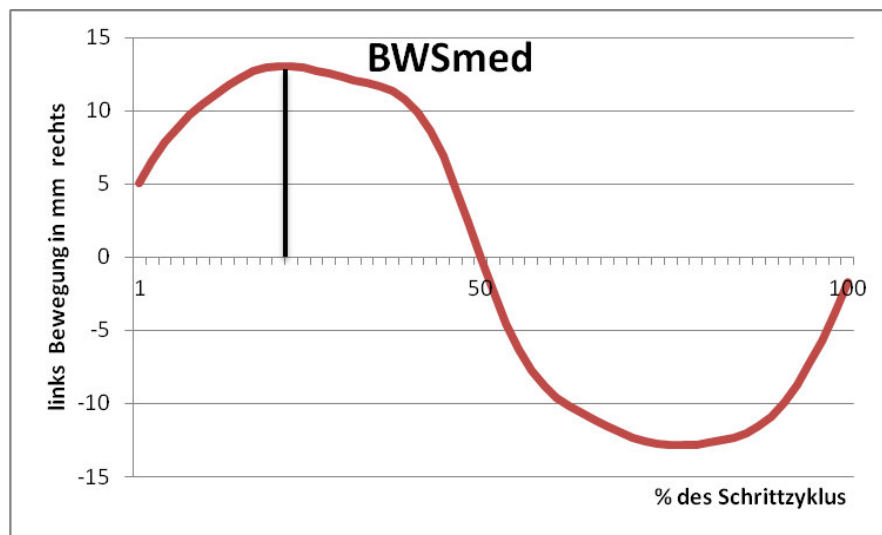


Abb. 18b)

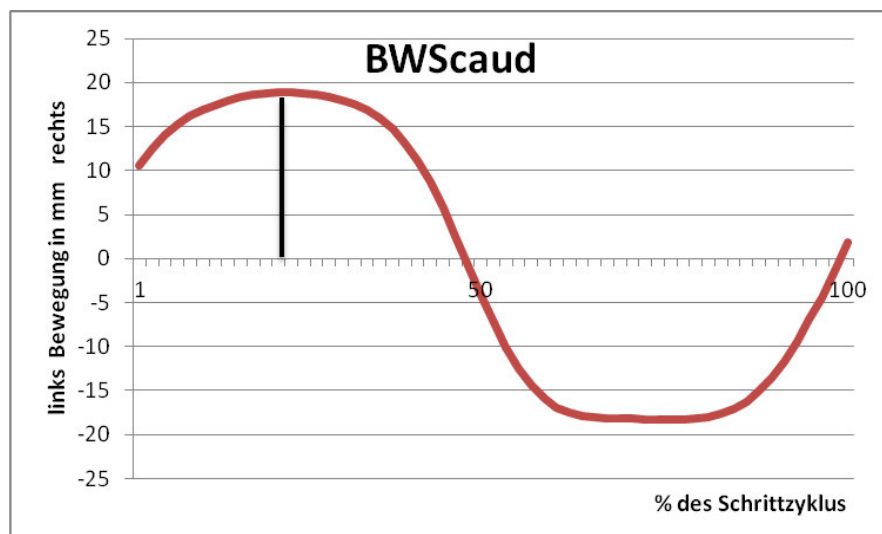


Abb. 18c)

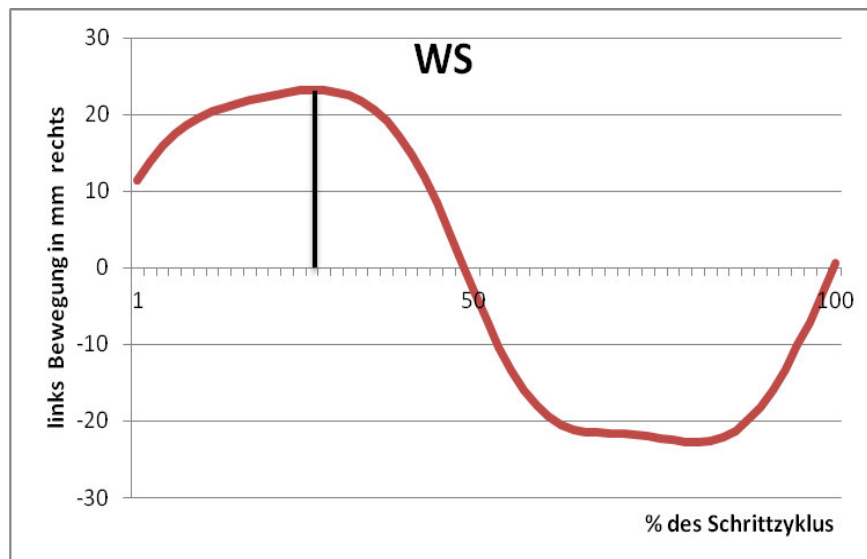


Abb. 18d)

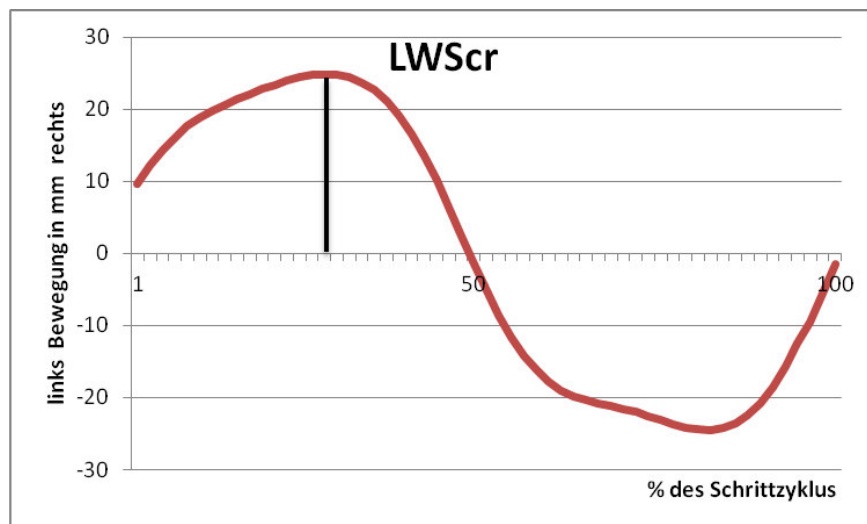


Abb. 18e)

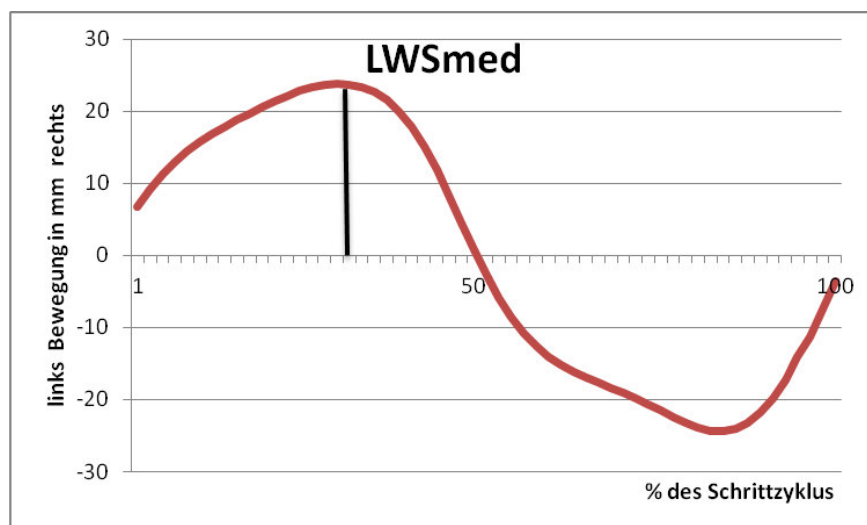


Abb. 18f)

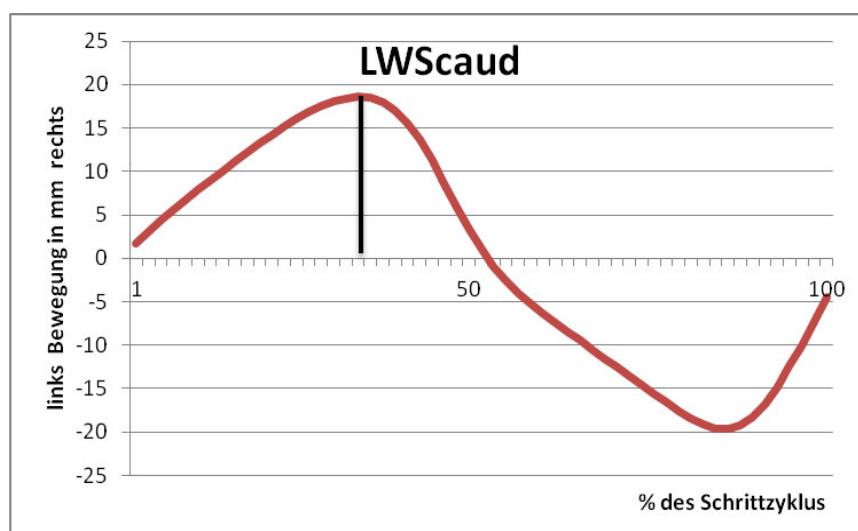


Abb. 18g)

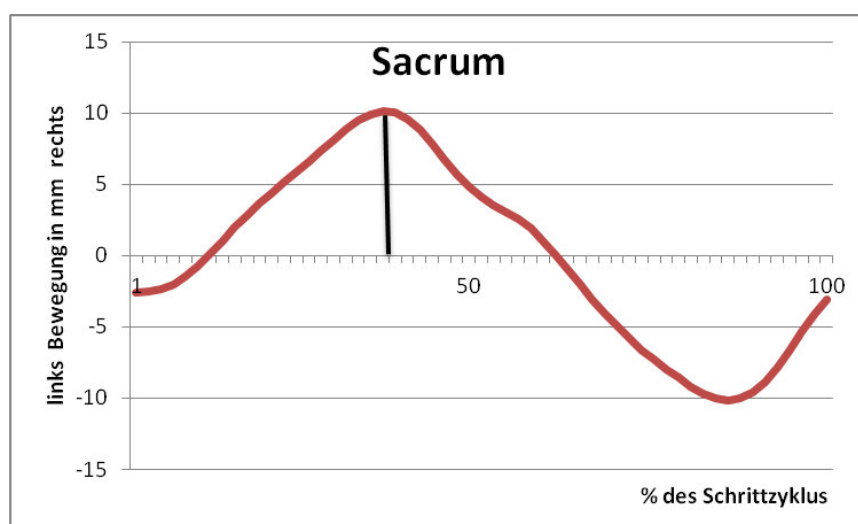


Abb. 18h)

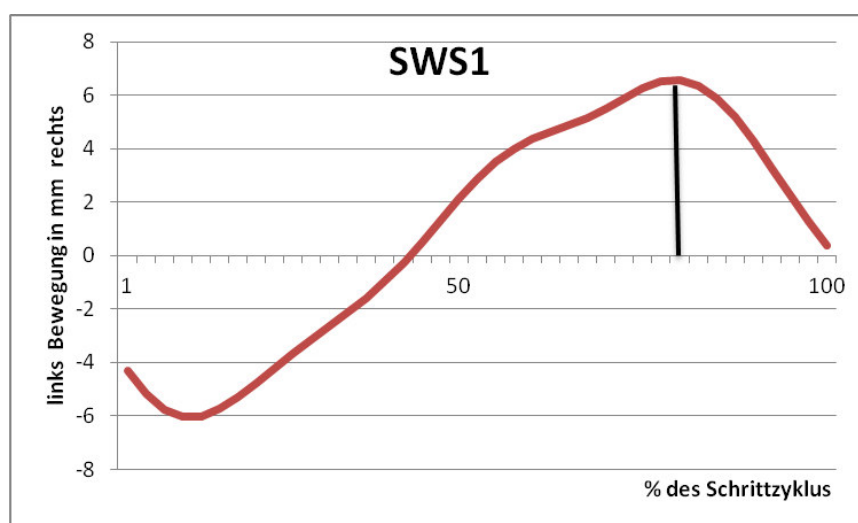


Abb. 18i)

**Abb. 18a-i): Mittlere Bewegung der Wirbelsäulenmarker BWScr–SWS1 eines Hundes mit einphasigem Bewegungsablauf. Gekennzeichnet ist die Verlagerung des rechten Maximums im Verlauf der Wirbelsäule nach hinten. SWS1 zeigt eine inverse Bewegung.**

### 3.1.1.1.2. Dreiphasige Rückenbewegung

Einige Tiere aus beiden Gruppen entwickelten ungefähr ab der mittleren Lendenwirbelsäule eine dreiphasige Rückenbewegung, bestehend aus drei Rechts-Links-Zyklen. Nachfolgend wird anhand eines Hundes beispielhaft verdeutlicht, wie sich die dreiphasige Rückenbewegung entwickelt (siehe Abb. 19a-i). Auch bei der dreiphasigen Rückenbewegung kam es zu einer Verlagerung des ersten maximalen rechten Punktes nach hinten im Verlauf der Wirbelsäule. Der Marker LWSer wies bereits eine Unregelmäßigkeit im Kurvenverlauf auf. Marker LWSmed zeigte eine Unterbrechung im Kurvenverlauf und eine Plateauausbildung um den Nulllinienbereich. Ab dem Marker LWScaud war eindeutig die Dreiphasigkeit der transversalen Bewegung zu erkennen.

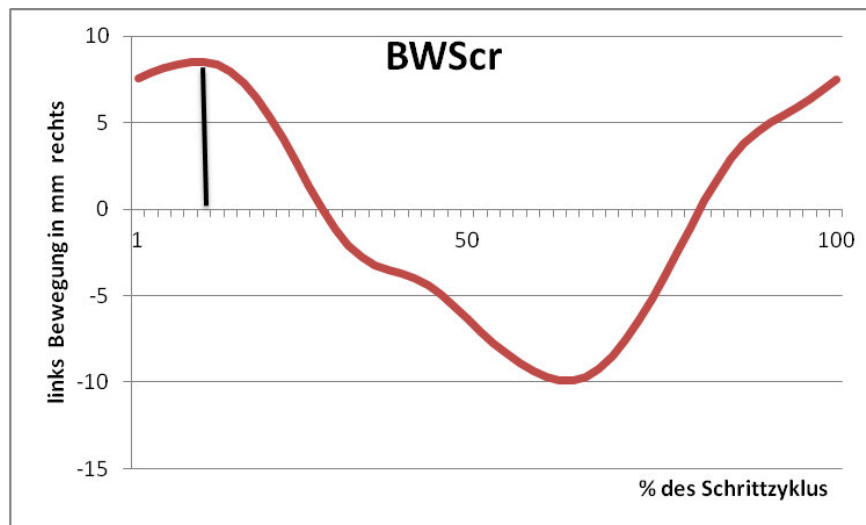


Abb. 19a)

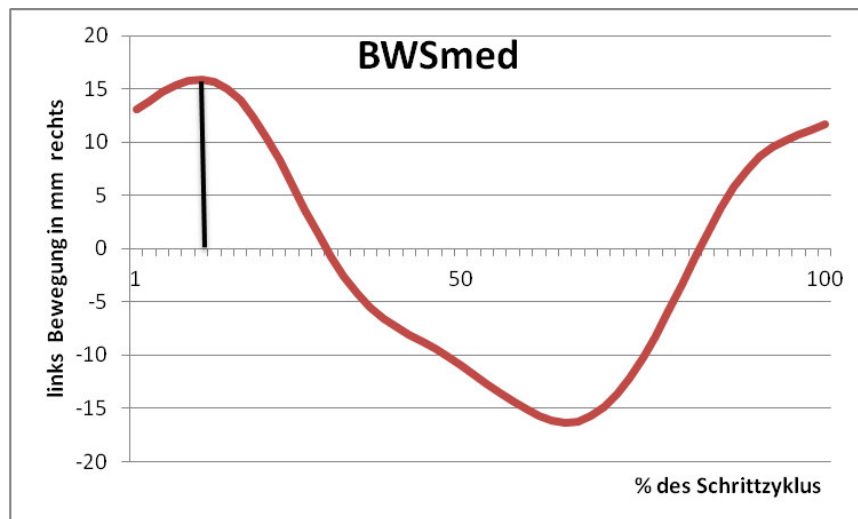


Abb. 19b)

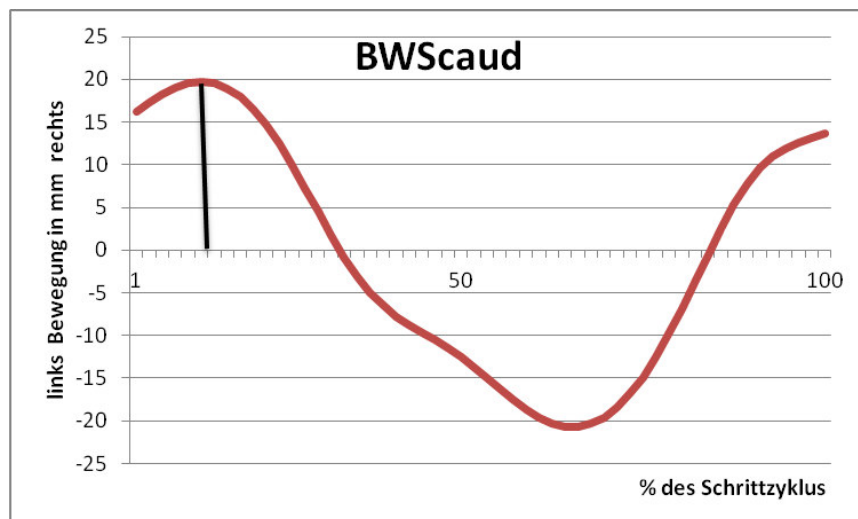


Abb. 19c)

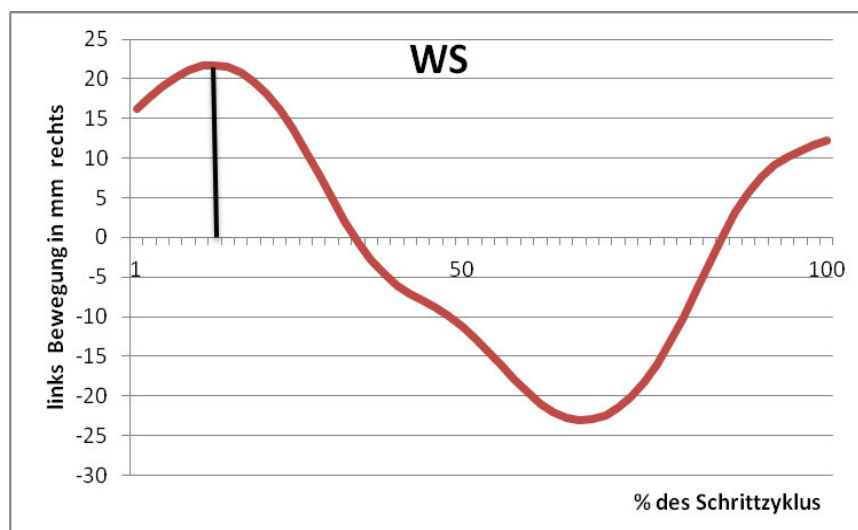


Abb. 19d)



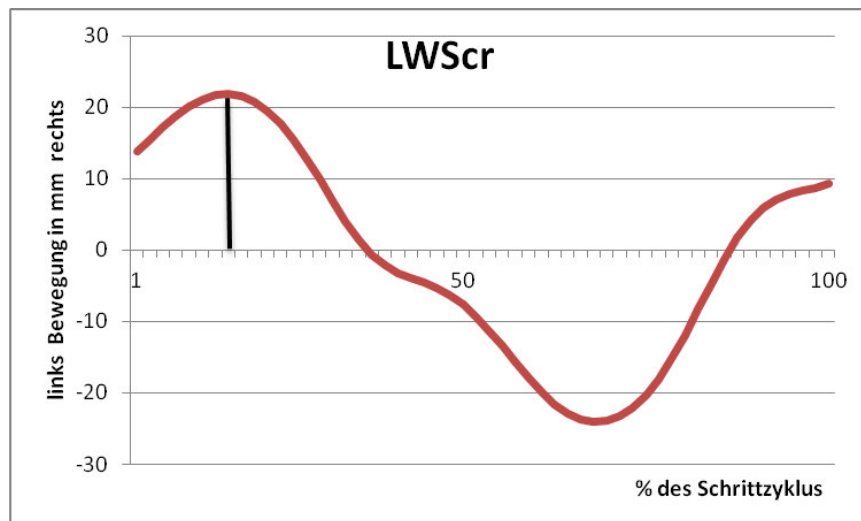


Abb. 19e)

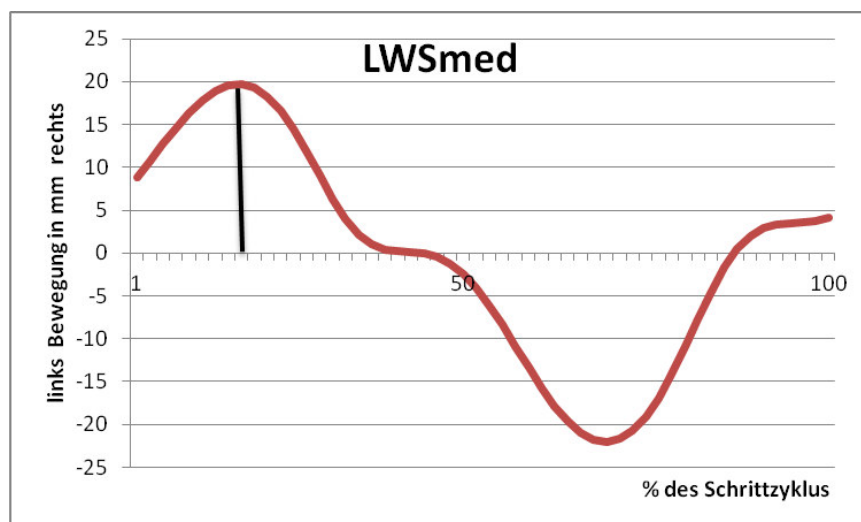


Abb. 19f)

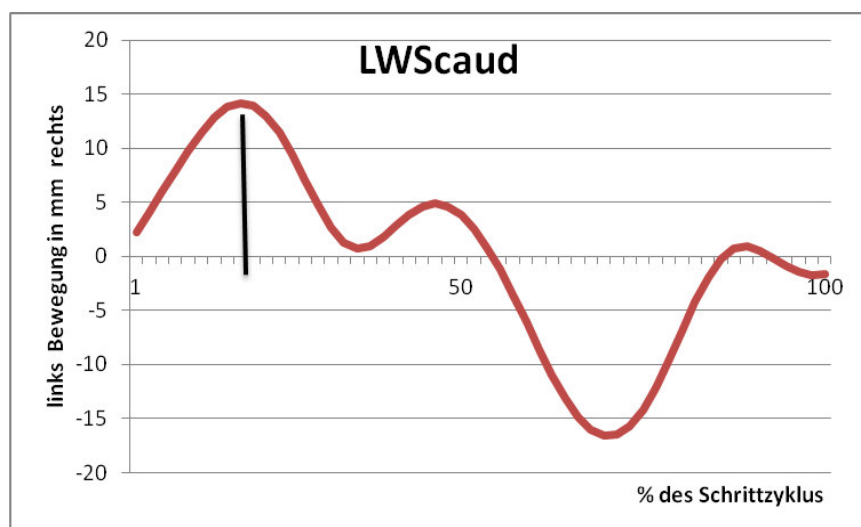


Abb. 19g)

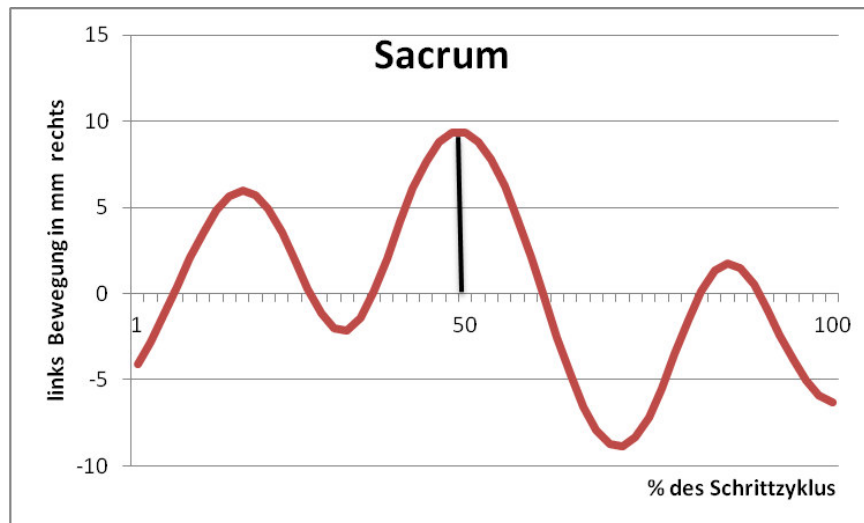


Abb. 19h)

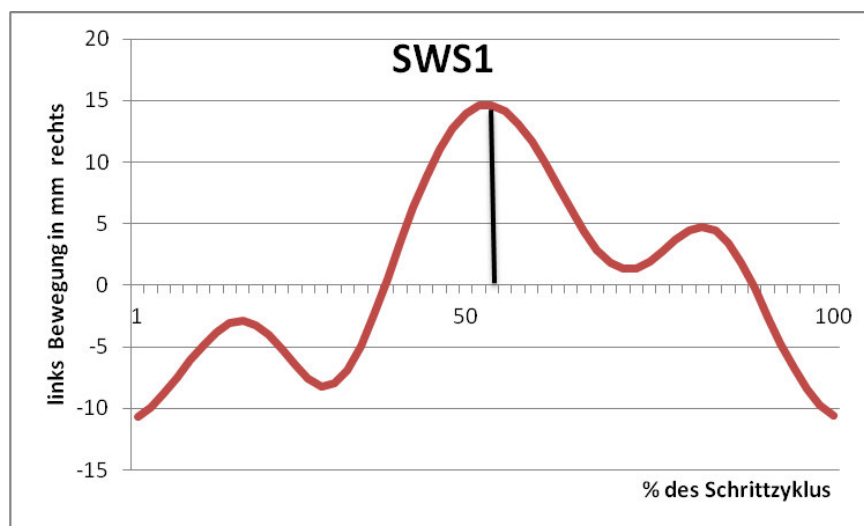


Abb. 19i)

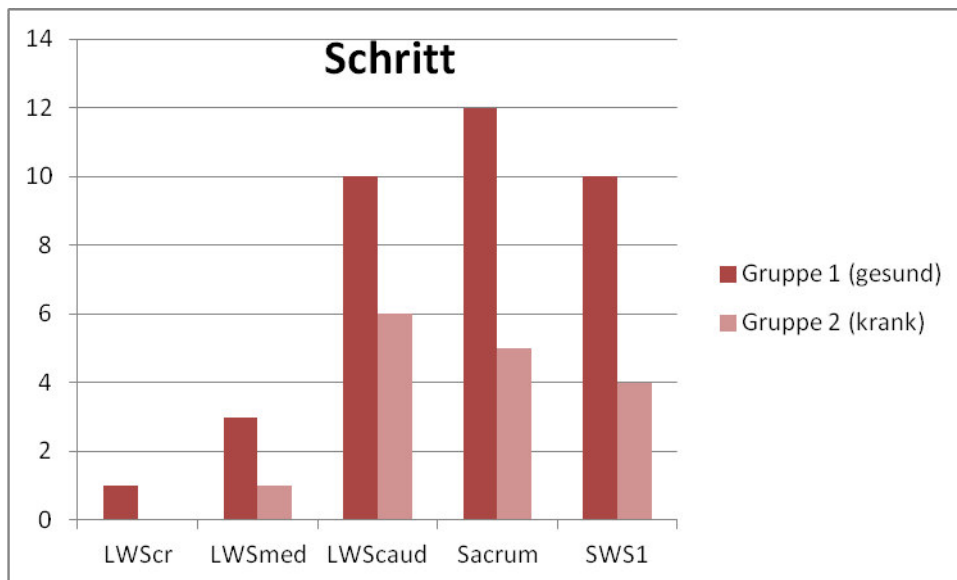
**Abb. 19a-i): Mittlere Bewegung der neun Wirbelsäulenmarker eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus. Eingezeichnet ist das Auftreten der maximalen rechten Position und deren Verlagerung nach hinten.**

Betrachtet man das zeitliche Auftreten der Minima und Maxima des dreiphasigen Bewegungsablaufes so erwartet man bei regelmäßiger Verteilung Abstände von 16,6–33,3–50,0–66,6–83,0 % innerhalb eines Schrittes. Die tatsächlich ermittelte Differenz bezogen auf das Auftreten des ersten rechten Maximums betrug bei allen Tieren im Schritt 17,9–33,7–51,5–70,4–80,4 % (siehe Tab. 15). Es ergab sich kein nennenswerter Unterschied zwischen Gruppe 1 und 2. Insgesamt zeigten 86,0 % (18/21) aller Tiere aus Gruppe 1 im Schritt einen dreiphasigen Kurvenverlauf in der kaudalen Wirbelsäule, wohingegen nur 53,0 % (10/19) aller

Tiere aus Gruppe 2 eine Dreiphasigkeit aufwiesen. Die Entwicklung der Dreiphasigkeit trat je nach Hund an unterschiedlichen Stellen der Wirbelsäule auf, jedoch nie kranial der Lendenwirbelsäule (siehe Abb. 20). Es wurde deutlich, dass neben dem gehäuftem Auftreten der Dreiphasigkeit bei den gesunden Dackeln diese auch im Schnitt weiter kranial in der Wirbelsäule das erste Mal erkennbar war.

**Tab. 15: Zeitliches Auftreten der Extrema bei einem dreiphasigen Bewegungsablauf im Schritt.**

TOO bezogen auf das erste rechte Maximum in %					
Markerposition	1. linkes Maximum	2. rechtes Maximum	2. linkes Maximum	3. rechtes Maximum	3. linkes Maximum
<b>MW</b>	<b>17,9 %</b>	<b>33,7 %</b>	<b>51,5 %</b>	<b>70,4 %</b>	<b>80,4 %</b>
$\pm$	7,7	6,7	4,5	7,5	3,0
Min	4,4	21,7	36,8	58,3	76,5
Max	43,9	48,8	63,5	97,6	86,3



**Abb. 20: Zeitpunkt des Auftretens der Dreiphasigkeit an den Markern LWSer-SWS1 bei Gruppe 1 und 2 im Schritt.**

Dies wird auch ersichtlich, betrachtet man vergleichend die Mittelwerte beider Gruppen innerhalb eines Schrittzklus für die neun Wirbelsäulenmarker im

Schritt (siehe Abb. 21a-i). Die Gruppe der kranken Tiere zeigte bis zum Sacrum einen einphasigen Bewegungsablauf, wohingegen die Gruppe der gesunden Tiere bereits ab LWSmed einen unregelmäßigen Kurvenverlauf aufwies, der sich über eine Plateaubildung bei LWScaud zu einer Dreiphasigkeit ab dem Sacrum weiterentwickelte.

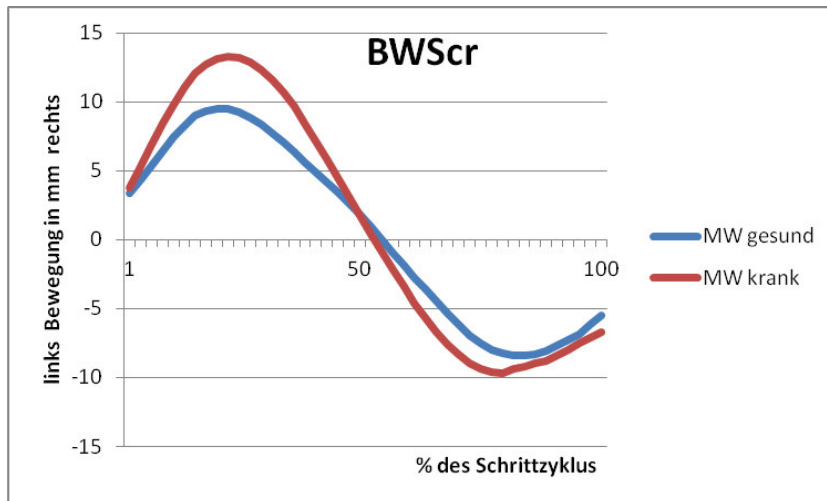


Abb. 21a)

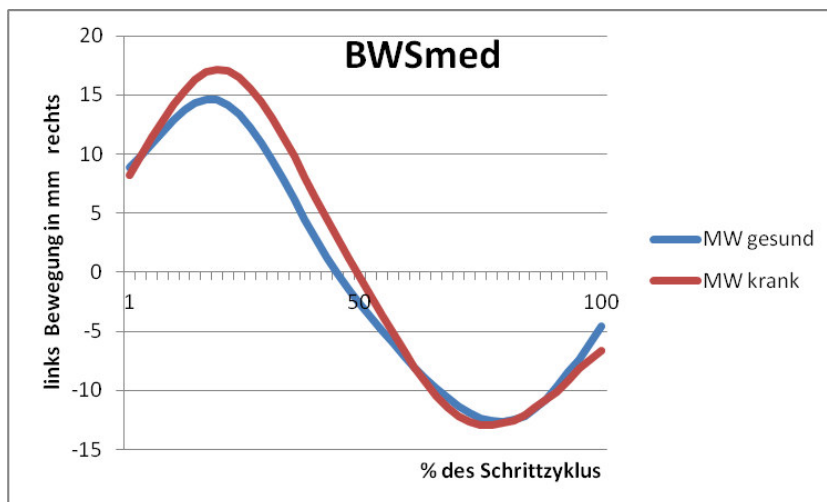


Abb. 21b)

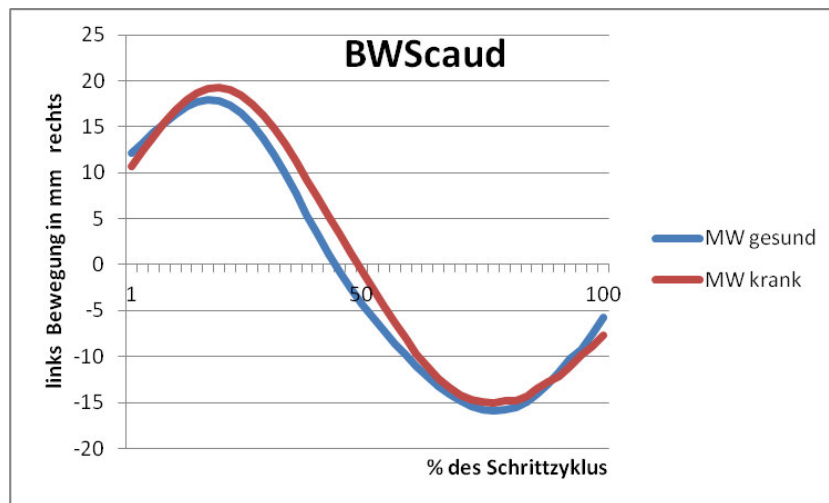


Abb. 21c)

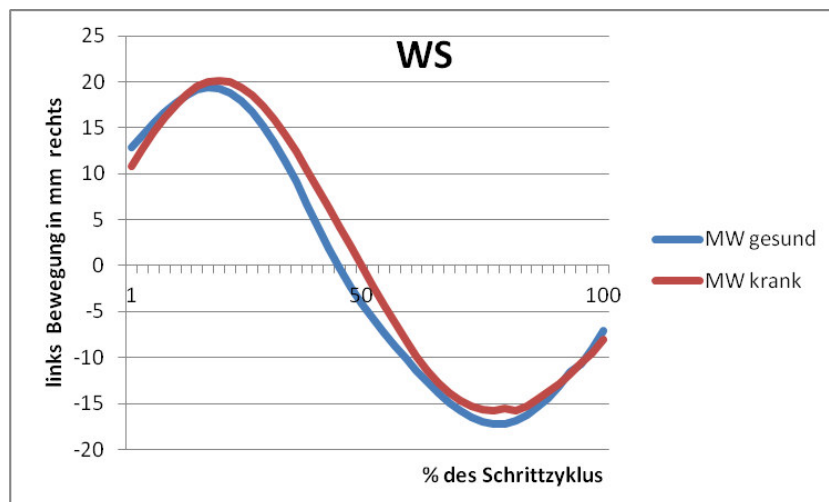


Abb. 21d)

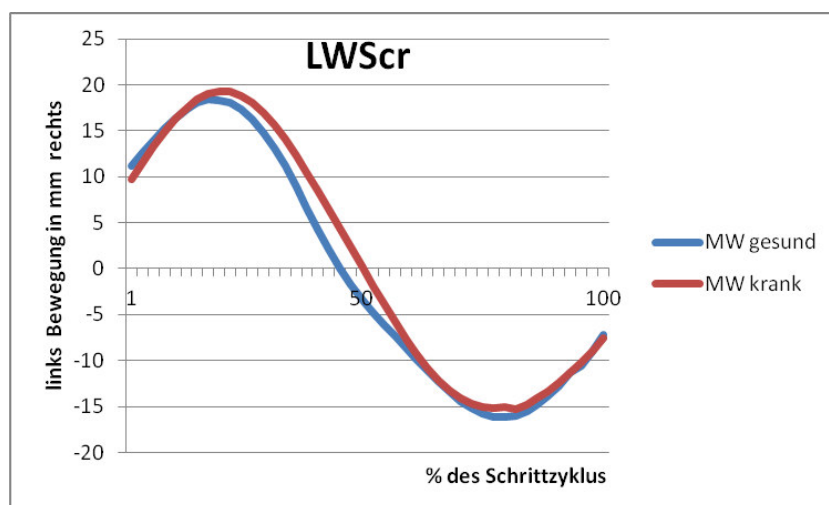


Abb. 21e)

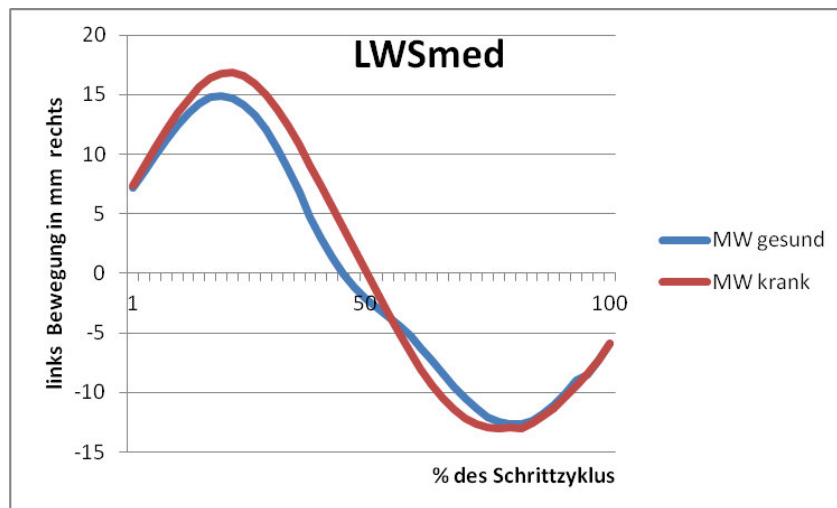


Abb. 21f)

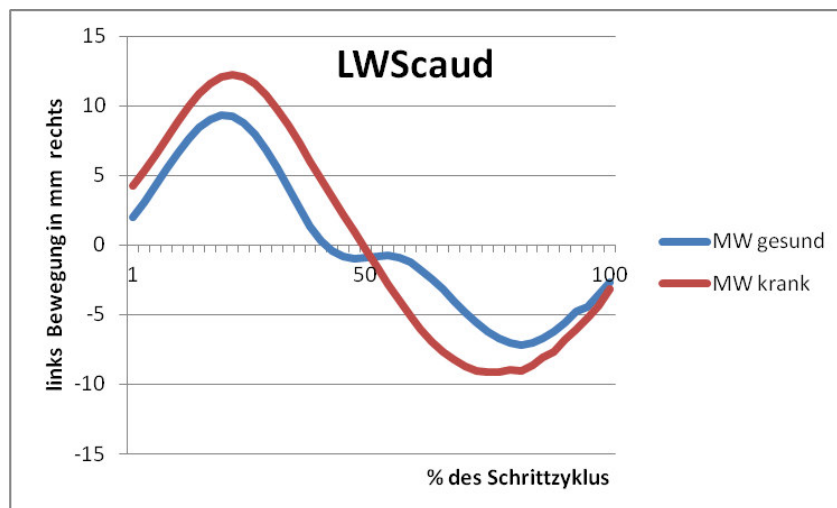


Abb. 21g)

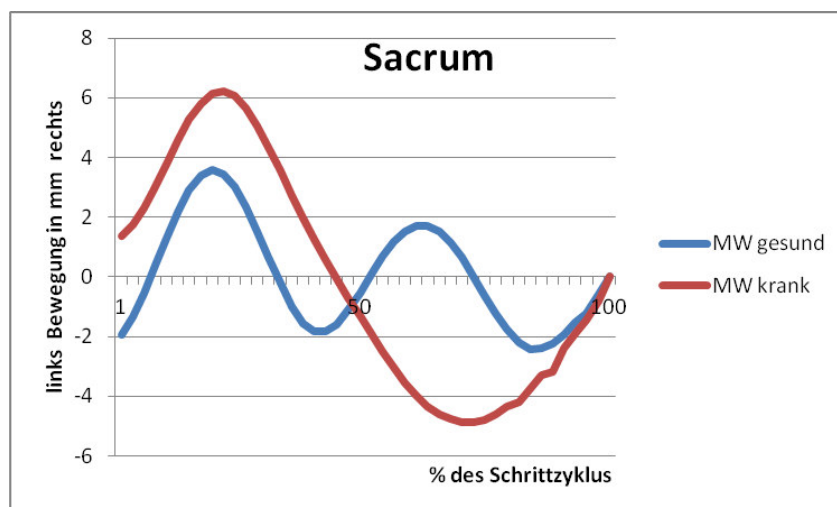


Abb. 21h)

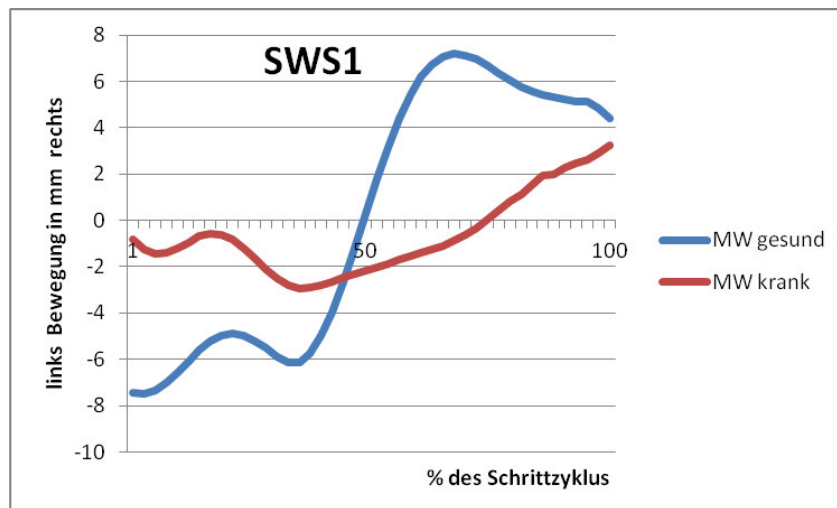


Abb. 21i)

**Abb. 21a-i): Vergleich der Mittelwerte beider Gruppen innerhalb eines Schrittzyklus für die neun Wirbelsäulenmarker im Schritt.**

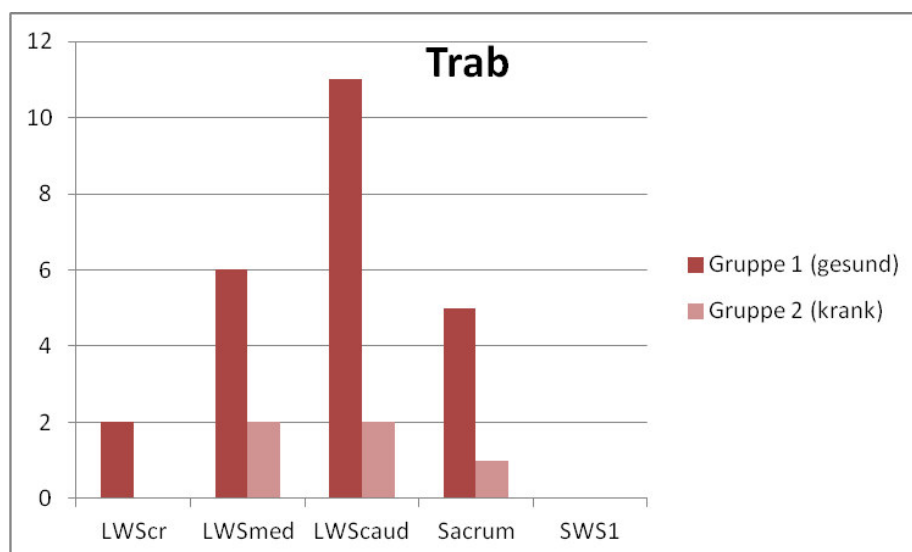
### 3.1.1.2. Trab

Ähnlich wie im Schritt konnte auch im Trab eine einphasige und dreiphasige Rückenbewegung, welche in der kaudalen Wirbelsäule invers verläuft, in beiden Gruppen nachgewiesen werden. Der einzige Unterschied bestand darin, dass sich das Auftreten der Maxima zeitlich gesehen innerhalb eines Schrittzyklus nicht nach hinten verschob. Das Auftreten der linken und rechten maximalen Position fand jeweils kurz nach dem Beginn der jeweiligen diagonalen Standphase statt. Wie im Schritt folgte auch im Trab bei allen Tieren mit einphasigem Bewegungsablauf ( $n = 16$ ) innerhalb eines Schrittzyklus ca. 50 % nach dem Auftreten des ersten Extremwertes der zweite Extremwert (MW 51,1 %, SD 8,3, Min 21,1, Max 79,7). Tiere mit dreiphasigem Bewegungsablauf ( $n = 20$ ) zeigten hinsichtlich des zeitlichen Auftretens der Minima und Maxima eine tatsächliche Verteilung von 14,0–32,2–54,7–69,1–81,5 % (siehe Tab. 16).

**Tab. 16: Zeitliches Auftreten der Extrema bei einem dreiphasigen Bewegungsablauf im Trab.**

TOO bezogen auf das erste rechte Maximum in %					
Markerposition	1. linkes Maximum	2. rechtes Maximum	2. linkes Maximum	3. rechtes Maximum	3. linkes Maximum
<b>MW</b>	<b>14,0 %</b>	<b>32,2 %</b>	<b>54,7 %</b>	<b>69,1 %</b>	<b>81,5 %</b>
$\pm$	5,2	8,3	6,1	11,9	5,0
Min	5,1	19,4	47,4	56,1	77,5
Max	29,7	55,6	71,8	97,4	97,3

Im Trab zeigten 81,0 % (17/21) der Tiere aus Gruppe 1 eine Dreiphasigkeit und nur 21,0 % (3/15) der Tiere aus Gruppe 2. Ebenso wie im Schritt trat die Dreiphasigkeit bei allen Hunden nie kranial der Lendenwirbelsäule auf und war in Gruppe 1 im Schnitt weiter kranial in der Wirbelsäule das erste Mal erkennbar (siehe Abb. 22). In beiden Gruppen gab es Tiere, die im Schritt eine Dreiphasigkeit und im Trab eine Einphasigkeit zeigten und umgekehrt. Es wechselten jedoch deutlich mehr kranke Tiere in eine Einphasigkeit im Trab über. Insgesamt vier kranke Tiere zeigten in keiner Gangart eine Dreiphasigkeit, wohingegen nur ein gesundes Tier eine rein einphasige transversale Rückenbewegung aufwies (siehe Tab. 17).

**Abb. 22: Zeitpunkt des Auftretens der Dreiphasigkeit an den Markern LWSscr-SWS1 Gruppe 1 und 2 im Trab.**



**Tab. 17: Vergleich der einphasigen und dreiphasigen Rückenbewegung zwischen beiden Gruppen und Gangarten.**

<b>Form der Rückenbewegung</b>	<b>Gruppe 1 (gesund) (n = 21)</b>	<b>Gruppe 2 (krank) (n = 15)</b>
Entwicklung einer dreiphasigen Rückenbewegung in beiden Gangarten	71,5 % (n = 15)	6,7 % (n = 1)
Rein einphasige Rückenbewegung in beiden Gangarten	4,8 % (n = 1)	26,6 % (n = 4)
Wechsel von einer Dreiphasigkeit im Schritt zu einer Einphasigkeit im Trab	14,2 % (n = 3)	46,7 % (n = 7)
Wechsel von einer Einphasigkeit im Schritt zu einer Dreiphasigkeit im Trab	9,5 % (n = 2)	20,0 % (n = 3)

### **3.1.2. Quantitative Beschreibung der transversalen Rückenbewegung**

Es erfolgen zunächst für beide Gruppen getrennt die Betrachtung des Bewegungsumfanges nach links und nach rechts sowie der gesamte Bewegungsumfang einer jeweiligen Markerposition und nachfolgend der Vergleich zwischen den beiden Gruppen.

#### **3.1.2.1. Gruppe 1 (gesund), Gangartenvergleich**

Die folgende Tabelle 18 zeigt die mittlere maximale Markerbewegung der gesunden Dackel nach links und nach rechts im Schritt und im Trab. Der Bewegungsumfang der einzelnen Marker nach links und nach rechts unterschied sich weder im Schritt noch im Trab signifikant.

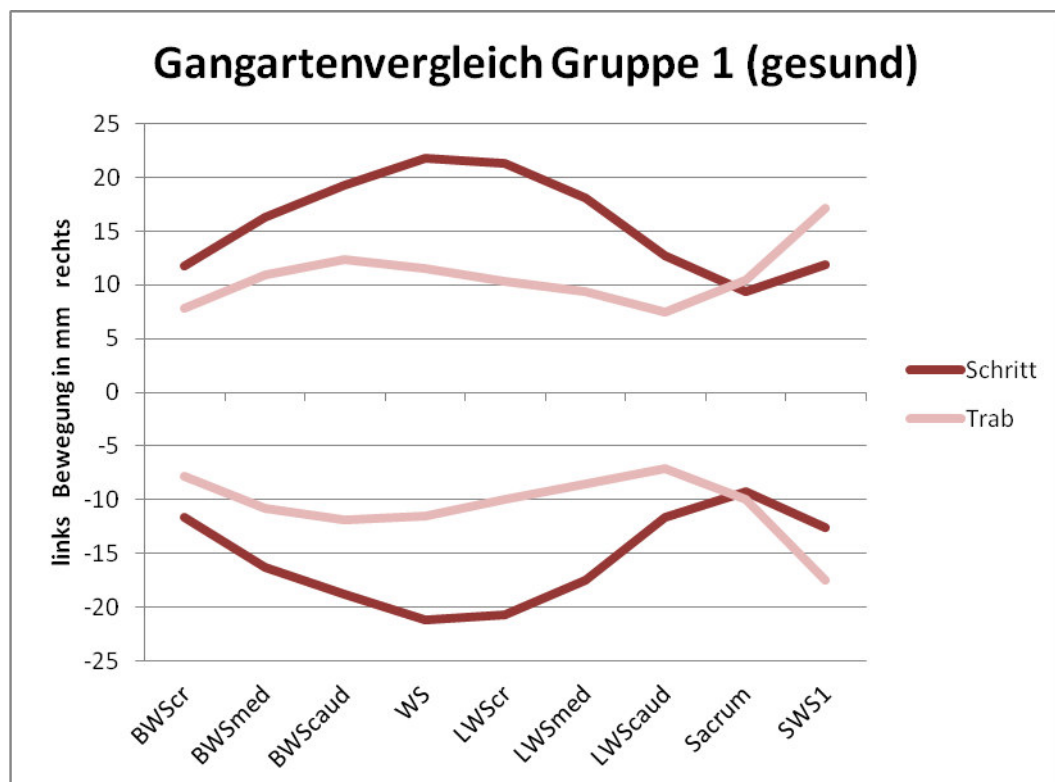
**Tab. 18: Mittlere maximale Markerbewegung von Gruppe 1 in der Transversalebene im Schritt und im Trab.**

Mittlere Markerbewegung nach rechts im Schritt (mm) (n = 21)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>11,8</b>	<b>16,4</b>	<b>19,3</b>	<b>21,8</b>	<b>21,4</b>	<b>18,1</b>	<b>12,7</b>	<b>9,4</b>	<b>11,9</b>
±	3,7	4,8	5,4	5,7	5,6	5,3	4,4	2,8	5,1
Min	6,4	9,2	12,8	13,9	12,2	9,1	4,7	2,8	4,7
Max	17,8	24,3	31,8	34,4	34,0	30,2	21,4	14,6	24,6
Mittlere Markerbewegung nach links im Schritt (mm) (n = 21)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmedd	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>11,7</b>	<b>16,3</b>	<b>18,8</b>	<b>21,2</b>	<b>20,8</b>	<b>17,5</b>	<b>11,6</b>	<b>9,2</b>	<b>12,6</b>
±	3,5	4,6	5,5	5,2	5,0	4,6	3,7	2,5	5,0
Min	6,1	9,1	9,1	12,6	11,6	9,0	4,9	2,6	24,0
Max	18,6	24,7	29,8	32,4	30,8	26,8	17,4	12,9	6,4
p-Wert Seitenvergleich	0,934	0,946	0,766	0,766	0,733	0,710	0,395	0,857	0,693
Mittlere Markerbewegung nach rechts im Trab (mm) (n = 21)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSme	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>7,8</b>	<b>11,0</b>	<b>12,3</b>	<b>11,6</b>	<b>10,4</b>	<b>9,3</b>	<b>7,5</b>	<b>10,4</b>	<b>17,2</b>
±	5,1	5,3	5,2	5,7	5,5	4,4	3,4	5,1	6,8
Min	2,2	4,1	4,0	3,0	1,7	3,2	3,0	4,5	7,8
Max	23,6	24,1	24,3	22,5	21,5	17,7	15,5	23,2	31,5
Mittlere Markerbewegung nach links im Trab (mm) (n = 21)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSme	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>7,9</b>	<b>10,9</b>	<b>11,9</b>	<b>11,5</b>	<b>10,0</b>	<b>8,5</b>	<b>7,1</b>	<b>9,9</b>	<b>17,5</b>
±	5,0	4,9	5,1	5,4	5,1	3,6	3,3	5,1	6,9
Min	2,3	3,8	4,1	3,0	2,6	3,3	2,6	2,8	8,8
Max	23,4	22,6	22,1	22,5	20,1	16,4	15,3	20,2	31,9
p-Wert Seitenvergleich	0,959	0,939	0,787	0,951	0,834	0,551	0,727	0,788	0,895

Betrachtet man den mittleren Bewegungsumfang in der Transversalebene (Summe der Maxima nach links und rechts), so ergeben sich die in Tabelle 19 dargestellten Werte. Der ROM der Wirbelsäule im Schritt bewegte sich dabei zwischen 18,6 mm am Marker Sacrum und 43,0 mm am Marker WS. Im Trab ergaben sich Werte zwischen 14,6 mm am Marker LWScaud und 24,2 mm am Marker BWScaud. Der größte Wert wurde mit 34,6 mm im Bereich SWS1 gemessen.



Der Bewegungsumfang im Schritt nahm ausgehend von BWScr bis zum Marker WS kontinuierlich zu, wurde dann zum Sacrum hin kontinuierlich kleiner, um im Bereich von SWS1 wieder anzusteigen (siehe Abb. 23). Im Trab nahm der Bewegungsumfang bis zum Marker BWScaud zu, fiel dann bis zum Marker LWScaud ab und zeigte dann wieder eine Zunahme im Bereich Sacrum und SWS1. Bis auf den Marker Sacrum unterschied sich der Bewegungsumfang im Gangartenvergleich in der Transversalebene über die gesamte Wirbelsäule signifikant. Folgende Abbildung 23 zeigt die durchschnittliche transversale Rückenbewegung der Gruppe 1 im Schritt und im Trab.



**Abb. 23: Mittlerer Bewegungsumfang der Gruppe 1 in der Transversalebene nach rechts und nach links im Gangartenvergleich.**

### 3.1.2.2. Gruppe 2 (krank), Gangartenvergleich

Der Bewegungsumfang der einzelnen Marker nach links und nach rechts unterschied sich auch bei den kranken Dackeln weder im Schritt noch im Trab signifikant. Die folgende Tabelle 20 zeigt die mittlere maximale Markerbewegung der kranken Dackel nach links und nach rechts im Schritt und im Trab.

**Tab. 20: Mittlere maximale Markerbewegung von Gruppe 2 in der Transversalebene im Schritt und im Trab.**

Mittlere Markerbewegung nach rechts im Schritt (mm) (n = 19)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>14.4</b>	<b>18.5</b>	<b>20.9</b>	<b>21.9</b>	<b>21.3</b>	<b>19.0</b>	<b>15.3</b>	<b>14.1</b>	<b>15.4</b>
±	6.5	7.5	7.1	7.0	6.9	7.1	8.3	8.0	7.6
Min	1.1	4.3	8.2	10.8	12.3	10.9	6.6	4.6	2.6
Max	27.1	34.5	36.5	38.5	37.4	35.2	35.1	35.7	33.2
Mittlere Markerbewegung nach links im Schritt (mm) (n = 19)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>14.3</b>	<b>18.8</b>	<b>21.0</b>	<b>21.8</b>	<b>21.3</b>	<b>19.0</b>	<b>15.2</b>	<b>13.6</b>	<b>14.8</b>
±	6.5	7.1	7.2	6.9	6.8	6.9	7.9	7.4	7.1
Min	0.6	7.1	9.3	11.9	11.4	9.9	5.6	3.7	5.4
Max	26.6	32.7	34.8	35.5	35.0	36.1	35.3	35.2	30.9
p-Wert Seitenvergleich	0.953	0.877	0.959	0.951	0.977	0.985	0.983	0.838	0.820
Mittlere Markerbewegung nach rechts im Trab (mm) (n = 15)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>10.3</b>	<b>12.9</b>	<b>14.2</b>	<b>13.9</b>	<b>13.2</b>	<b>12.6</b>	<b>12.1</b>	<b>13.5</b>	<b>17.0</b>
±	6.8	6.8	6.6	6.9	7.7	8.0	8.3	7.9	8.2
Min	1.0	3.5	6.5	7.0	5.2	3.1	3.8	4.6	5.2
Max	26.4	26.4	26.4	31.1	34.9	35.9	36.7	36.9	34.5
Mittlere Markerbewegung nach links im Trab (mm) (n = 15)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>9.4</b>	<b>12.3</b>	<b>13.3</b>	<b>13.4</b>	<b>13.1</b>	<b>12.1</b>	<b>11.8</b>	<b>13.0</b>	<b>16.9</b>
±	5.3	6.0	5.9	6.4	7.0	7.4	6.7	7.0	7.3
Min	1.2	3.1	3.5	5.2	4.3	2.6	4.7	4.2	4.8
Max	20.00	23.2	25.2	29.2	30.9	31.1	30.0	30.0	29.7
p-Wert Seitenvergleich	0.699	0.792	0.699	0.856	0.969	0.866	0.928	0.858	0.972

Betrachtet man den mittleren Bewegungsumfang in der Transversalebene (Summe der Maxima nach links und rechts), so ergeben sich folgende Werte: Die ROM im Schritt bewegte sich zwischen 27,7 mm am Marker Sacrum und 43,6 mm am Marker WS. Im Trab ergaben sich Werte zwischen 19,7 mm am Marker BWScr und 27,4 mm am Marker BWScaud. Der größte Wert wurde mit 33,8 mm im Bereich SWS1 gemessen (siehe Tab. 21).

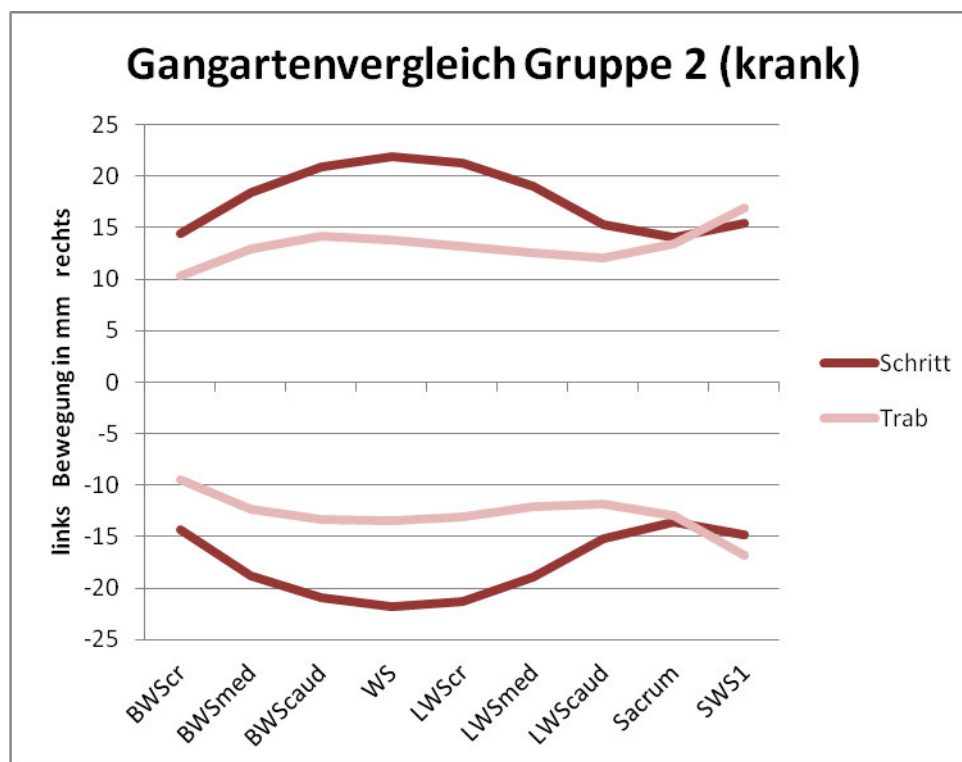
Tab. 21: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Transversalebene der Gruppe 2 im Schritt und im Trab.

Mittlerer Bewegungsumfang im Schritt (mm) (n = 19)										
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>28,7</b>	<b>37,3</b>	<b>41,8</b>	<b>43,6</b>	<b>42,6</b>	<b>38,0</b>	<b>30,5</b>	<b>27,7</b>	<b>30,2</b>	
±	12,9	14,4	14,2	13,9	13,6	13,8	16,0	15,3	14,5	
Min	1,7	11,6	17,5	22,7	23,7	20,8	13,8	9,7	8,0	
Max	53,7	67,3	71,3	74,0	71,7	71,1	70,5	71,0	64,1	
Mittlerer Bewegungsumfang im Trab (mm) (n = 15)										
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>19,7</b>	<b>25,3</b>	<b>27,4</b>	<b>27,3</b>	<b>26,3</b>	<b>24,7</b>	<b>23,9</b>	<b>26,5</b>	<b>33,8</b>	
±	12,0	12,6	12,3	13,2	14,6	15,2	14,7	14,6	15,2	
Min	2,2	6,6	10,0	12,8	9,5	5,7	8,5	9,4	10,1	
Max	46,4	46,4	51,1	60,3	65,8	66,9	66,7	66,9	59,5	
p-Wert Gangartenvergleich	0,046	0,016	0,004	0,001	0,002	0,012	0,225	0,891	0,492	



Auch bei Gruppe 2 war ausgehend vom Marker BWScr eine Zunahme des Bewegungsumfanges bis zu den Markern WS im Schritt bzw. BWScaud im Trab nachvollziehbar (siehe Abb. 24). Der Bewegungsumfang nahm dann bis zum Marker Sacrum im Schritt bzw. LWScaud im Trab ab, um dann wieder einen Anstieg in beiden Gangarten zu verzeichnen. Anders als bei Gruppe 1 unterschied sich bei Gruppe 2 im Gangartenvergleich der Bewegungsumfang nur im Bereich BWScr–LWSmed signifikant.

Folgende Abbildung 24 zeigt den mittleren Bewegungsumfang der neun Wirbelsäulenmarker der Gruppe 2 in der Transversalebene.



**Abb. 24: Mittlerer Bewegungsumfang der kranken Dackel in der Transversalebene nach rechts und nach links im Gangartenvergleich.**

### 3.1.2.3. Gruppenvergleich

Die Gruppe 2 wies bei allen neun Wirbelsäulenmarkern die größere Markerbewegung in der Transversalebene auf (siehe Tab. 22). Im Bereich der kranialen und kaudalen Wirbelsäule (Marker BWScr, BWSmed, LWScaud, Sacrum) waren die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen am größten. Die Gruppe der kranken Dackel zeigte am Marker BWScr und Sacrum eine signifikant vergrößerte Markerbewegung in beide Richtungen. Im Bereich der

---

Marker BWSmed und LWScaud war jeweils die Markerbewegung nach links signifikant, die Markerbewegung nach rechts deutlich, aber nicht signifikant vergrößert.

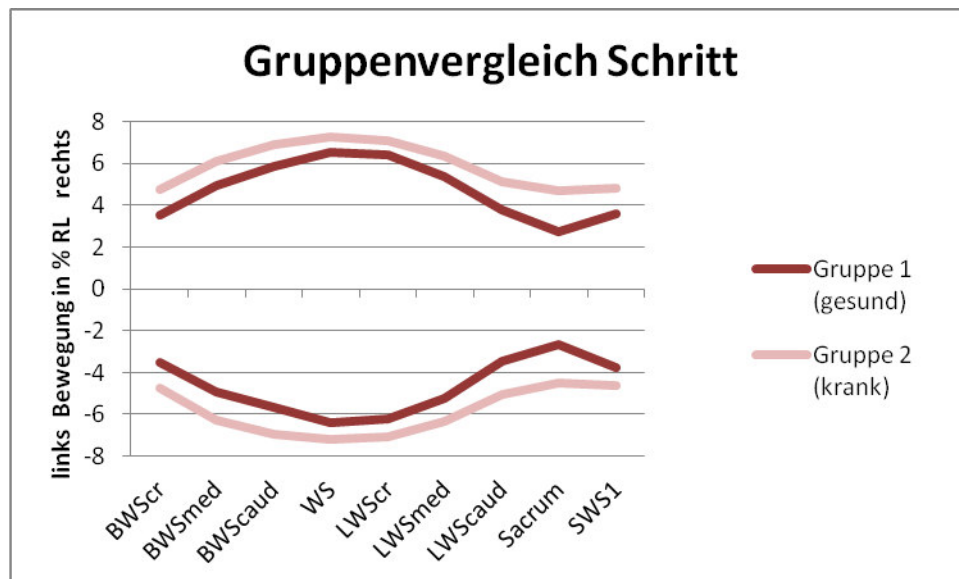
Tab. 22: Mittlere Markerbewegung beider Gruppen in der Transversalebene im Schritt (in % der Rückenlänge).

Mittlere Markerbewegung nach rechts im Schritt Gruppe 1 (gesund) (% der Rückenlänge) (n = 21)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>3,5</b>	<b>4,9</b>	<b>5,8</b>	<b>6,5</b>	<b>6,4</b>	<b>5,4</b>	<b>3,8</b>	<b>2,7</b>	<b>3,6</b>
±	1,2	1,6	1,7	1,9	1,8	1,6	1,2	1,0	1,7
Min	1,9	2,5	3,7	4,3	4,1	3,0	1,6	0,9	1,6
Max	5,9	8,1	3,7	11,5	11,1	10,0	6,8	4,9	8,2
Mittlere Markerbewegung nach rechts im Schritt Gruppe 2 (krank) (% der Rückenlänge) (n = 19)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>4,8</b>	<b>6,1</b>	<b>6,9</b>	<b>7,3</b>	<b>7,1</b>	<b>6,3</b>	<b>5,1</b>	<b>4,7</b>	<b>4,8</b>
±	2,2	2,6	2,4	2,4	2,4	2,4	2,8	2,7	2,7
Min	0,4	1,4	2,7	3,6	4,1	3,4	1,8	1,6	0,9
Max	9,0	11,5	12,2	12,8	12,5	11,7	11,7	11,9	11,1
Rel. Diff. zw. den Gruppen	36,3 %	24,0 %	18,6 %	11,5 %	11,0 %	17,7 %	34,8 %	70,2 %	33,2 %
p-Wert Gruppenvergleich	0,041	0,089	0,106	0,289	0,303	0,157	0,071	0,008	0,108
Mittlere Markerbewegung nach links im Schritt Gruppe 1 (gesund) (% der Rückenlänge) (n = 21)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>3,5</b>	<b>4,9</b>	<b>5,7</b>	<b>6,4</b>	<b>6,2</b>	<b>5,2</b>	<b>3,5</b>	<b>2,7</b>	<b>3,8</b>
±	1,2	1,6	1,7	1,8	1,7	1,5	1,0	0,8	1,7
Min	2,0	2,8	3,0	4,2	3,9	3,0	1,6	0,9	1,9
Max	6,2	8,2	9,7	10,8	10,3	8,9	5,3	4,3	8,0
Mittlere Markerbewegung nach links im Schritt Gruppe 2 (krank) (% der Rückenlänge) (n = 19)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>4,8</b>	<b>6,3</b>	<b>7,0</b>	<b>7,2</b>	<b>7,1</b>	<b>6,3</b>	<b>5,1</b>	<b>4,5</b>	<b>4,6</b>
±	2,2	2,4	2,5	2,4	2,3	2,4	2,7	2,5	2,5
Min	0,2	2,4	3,1	4,0	3,8	3,0	1,9	1,2	1,8
Max	8,9	10,9	11,6	11,8	11,7	12,0	11,8	11,7	10,3
Rel. Diff. zw. den Gruppen	35,9 %	27,4 %	22,5 %	13,5 %	13,6 %	21,1 %	47,0 %	67,7 %	21,7 %
p-Wert Gruppenvergleich	0,044	0,050	0,068	0,214	0,208	0,096	0,021	0,006	0,239

Tabelle 23 und Abbildung 25 zeigen den mittleren Bewegungsumfang der neun Wirbelsäulenmarker in der Transversalebene beider Gruppen im Schritt. Gruppe 2 zeigte im Bereich BWScr, LWScaud und Sacrum einen signifikant erhöhten ROM. Betrachtet man die relative Differenz zwischen den beiden Gruppen, so ist der Bewegungsumfang von Gruppe 2 verglichen mit dem von Gruppe 1 zwischen 12,3–69,0 % erhöht (Tab. 23).

**Tab. 23: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Transversalebene beider Gruppen im Schritt (in % der Rückenlänge).**

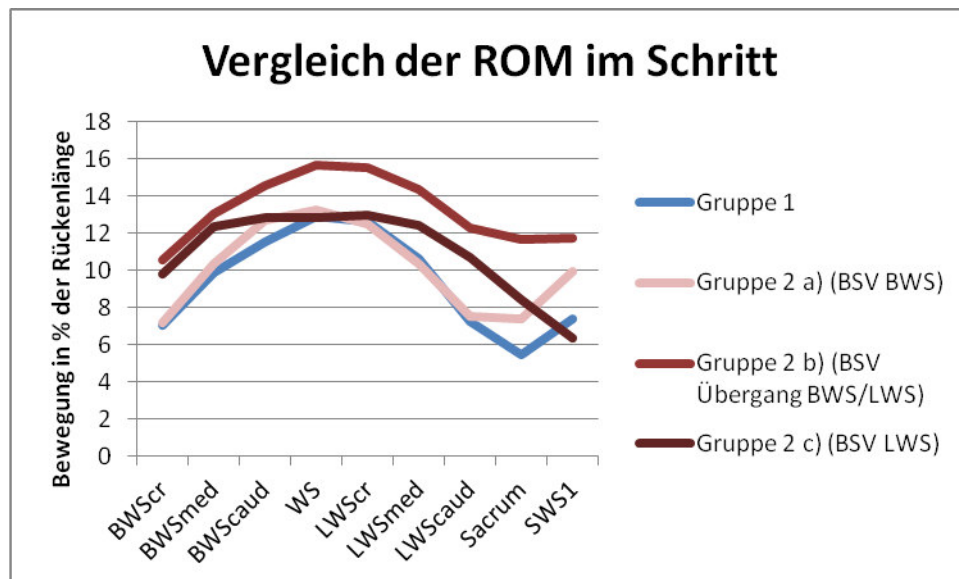
<b>Mittlerer Bewegungsumfang Gruppe 1 (gesund) im Schritt (% der Rückenlänge) (n = 21)</b>									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>7,0</b>	<b>9,9</b>	<b>11,5</b>	<b>12,9</b>	<b>12,6</b>	<b>10,6</b>	<b>7,2</b>	<b>5,4</b>	<b>7,4</b>
±	2,4	3,1	3,4	3,6	3,4	3,0	2,2	1,7	3,4
Min	3,9	5,4	7,6	8,5	7,9	6,0	3,2	1,8	3,7
Max	11,4	16,1	19,5	22,3	21,3	18,9	12,1	9,2	16,2
<b>Mittlerer Bewegungsumfang Gruppe 2 (krank) im Schritt (% der Rückenlänge) (n = 19)</b>									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>9,5</b>	<b>12,4</b>	<b>13,9</b>	<b>14,5</b>	<b>14,2</b>	<b>12,7</b>	<b>10,2</b>	<b>9,2</b>	<b>9,4</b>
±	4,5	4,3	4,9	4,7	4,7	4,8	5,4	5,1	5,1
Min	0,6	3,9	5,8	7,6	7,9	6,4	3,8	3,2	2,7
Max	17,9	22,4	23,8	24,7	23,9	23,7	23,5	23,7	21,4
Rel. Diff. zw. den Gruppen	36,1 %	25,7 %	20,6 %	12,5 %	12,3 %	14,0 %	40,6 %	69,0 %	27,4 %
p-Wert Gruppenvergleich	0,040	0,062	0,068	0,247	0,246	0,224	0,038	0,006	0,156



**Abb. 25: Vergleich der mittleren Rückenbewegung in der Transversalebene der neun Wirbelsäulenmarker im Schritt.**

Nachfolgend wurde die Gruppe 2 (krank) nach Lokalisation des Bandscheibenvorfalles in drei Untergruppen unterteilt. Gruppe 2 a) (n = 6) mit Bandscheibenvorfall im Bereich der Brustwirbelsäule, Gruppe 2 b) (n = 8) mit Bandscheibenvorfall am Übergang der Brust- zur Lendenwirbelsäule und Gruppe 2 c) (n = 4) mit Bandscheibenvorfall im Bereich der Lendenwirbelsäule. Ein Proband musste von diesem Vergleich ausgeschlossen werden, da er sowohl einen Bandscheibenvorfall der Brust-, als auch der Lendenwirbelsäule zeigte.

Auch im Vergleich der drei Untergruppen mit Gruppe 1 wiesen die kranken Dackel nahezu immer einen erhöhten Bewegungsumfang auf (siehe Abb. 26). Lediglich im Bereich LWScr und LWSmed zeigte Gruppe 2 a), im Bereich WS und SWS1 Gruppe 2 c) einen erniedrigten Bewegungsumfang. Allein im Vergleich mit Gruppe 2 b) kam es jedoch zu signifikanten Unterschieden des ROM. Im Bereich LWScaud, Sacrum und SWS1 zeigte Gruppe 2 b) einen signifikant vergrößerten ROM. Betrachtet man den gesamten Kurvenverlauf, so fällt auf, dass Gruppe 2 c) im Gegensatz zu allen anderen Gruppen im Bereich Sacrum und SWS1 einen stetig kleiner werdenden Bewegungsumfang aufwies. Die Einzelwerte der drei Untergruppen sind in Tabelle 43 – Tabelle 45 im Anhang zu finden.



**Abb. 26: Vergleich des ROM der drei Untergruppen mit Gruppe 1 in der Transversalebene für die neun Wirbelsäulenmarker im Schritt.**

Auch im **Trab** wies die Gruppe der kranken Dackel bei allen neun Wirbelsäulenmarkern die größere Markerbewegung auf (siehe Tab. 24). Im Bereich der kaudalen Wirbelsäule (Marker LWScr, LWSmed, LWScaud, Sacrum) waren die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen am größten. Die Gruppe der kranken Dackel zeigte am Marker LWScaud eine signifikant vergrößerte Markerbewegung in beide Richtungen. Im Bereich des Marker LWSmed war die Markerbewegung nach links signifikant, die Markerbewegung nach rechts deutlich, aber nicht signifikant vergrößert.

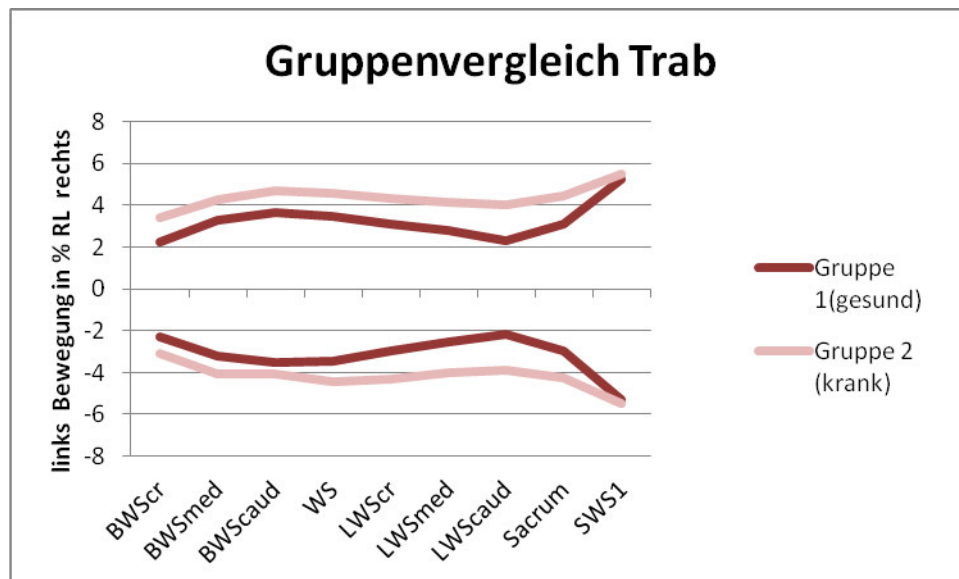




Die Gruppe 2 zeigte im Bereich LWSmed und LWScaud einen signifikant erhöhten ROM in der Transversalebene (siehe Tab. 25 und Abb. 27). Betrachtet man die relative Differenz zwischen den beiden Gruppen, so war der Bewegungsumfang von Gruppe 2 verglichen mit dem von Gruppe 1 zwischen 4,5–76,9 % erhöht.

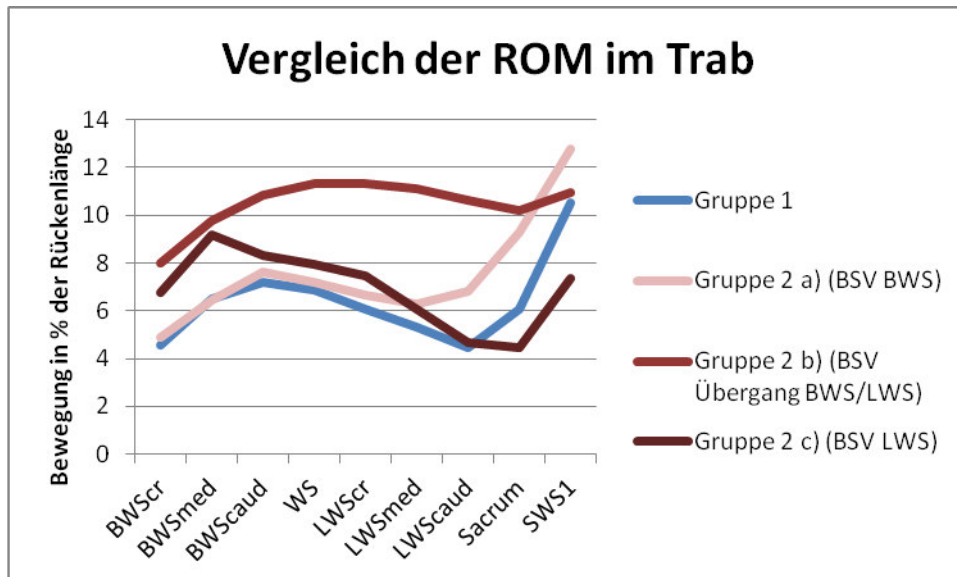
Tab. 25: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Transversalebene beider Gruppen im Trab (% der Rückenlänge).

Mittlerer Bewegungsumfang Gruppe 1 (gesund) im Trab (% der Rückenlänge) (n = 21)									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>4,6</b>	<b>6,5</b>	<b>7,2</b>	<b>6,9</b>	<b>6,1</b>	<b>5,3</b>	<b>4,5</b>	<b>6,1</b>	<b>10,5</b>
±	2,6	2,8	2,9	3,3	3,2	2,4	2,3	3,0	4,2
Min	1,5	3,0	2,7	2,0	1,1	2,0	1,7	1,7	4,5
Max	10,7	11,9	12,7	14,3	13,3	11,1	10,2	13,1	18,6
Mittlerer Bewegungsumfang Gruppe 2 (krank) im Trab (% der Rückenlänge) (n = 15)									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>6,5</b>	<b>8,3</b>	<b>8,5</b>	<b>9,0</b>	<b>8,7</b>	<b>8,2</b>	<b>7,9</b>	<b>8,7</b>	<b>11,0</b>
±	4,1	4,3	4,6	4,5	4,9	5,1	4,9	4,9	4,7
Min	0,7	2,2	3,2	4,3	3,2	1,9	2,2	3,2	3,4
Max	15,5	15,5	17,0	20,1	21,9	22,3	22,2	22,3	19,6
Rel. Diff. zw. den Gruppen	41,7 %	27,9 %	17,6 %	30,8 %	43,4 %	53,8 %	76,9 %	43,5 %	4,5 %
p-Wert Gruppenvergleich	0,110	0,133	0,344	0,110	0,063	0,039	0,010	0,073	0,752



**Abb. 27: Vergleich der mittleren Rückenbewegung in der Transversalebene der neun Wirbelsäulenmarker beider Gruppen im Trab.**

Betrachtet man die Gruppe 2 (krank) unterteilt in die oben genannten drei Untergruppen im Vergleich zur gesunden Gruppe, so wiesen diese auch im Trab nahezu immer einen erhöhten Bewegungsumfang auf (siehe Abb. 28). Lediglich Gruppe 2 a) zeigte im Bereich BWSmed, Gruppe 2 c) im Bereich Sacrum und SWS1 einen erniedrigten Bewegungsumfang. Allein im Vergleich mit Gruppe 2 b) kam es jedoch zu signifikanten Unterschieden im ROM. Gruppe 2 b) zeigte im Bereich LWScr, LWSmed und LWScaud einen signifikant erhöhten Bewegungsumfang.



**Abb. 28: Vergleich des ROM der drei Untergruppen mit der Gruppe 1 in der Transversalebene für die neun Wirbelsäulenmarker im Trab.**

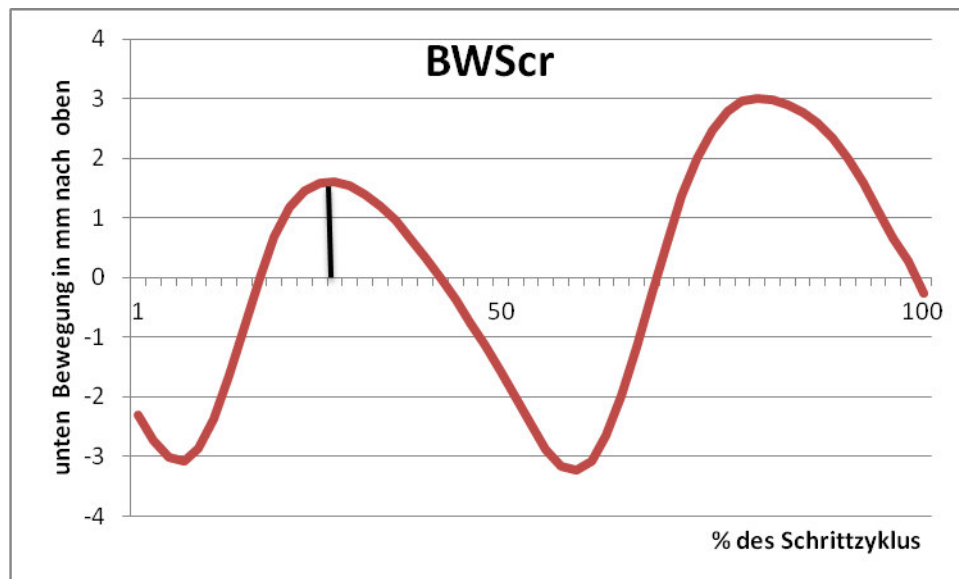
### 3.2. Sagittalebene

#### 3.2.1. Qualitative Beschreibung der Rückenbewegung

Nachfolgend wird zunächst die Bewegung des Rückens in der Sagittalebene für die beiden Gruppen jeweils im Schritt und Trab beschrieben und diese dann miteinander verglichen.

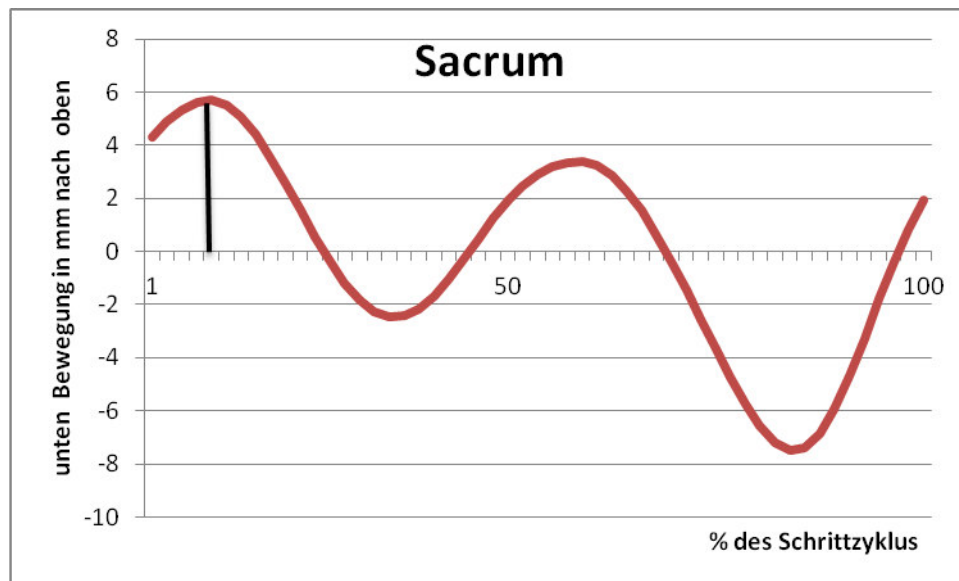
##### 3.2.1.1. Schritt

In der Sagittalebene folgt die Bewegung eines Markers im Schritt bei allen Hunden beider Gruppen einem zweiphasigen Bewegungsablauf, der Marker beschreibt innerhalb eines Schrittzklus zwei vollständige Auf- und Ab-Bewegungen (siehe Abb. 29).



**Abb. 29: Mittlere Bewegung des Markers BWScr eines Hundes in der Sagittalebene. Eingezeichnet ist das Auftreten der ersten maximalen dorsalen Markerposition.**

Im Bereich der kranialen Wirbelsäule befindet sich der Rücken zum Zeitpunkt des Beginns der Standphase der rechten Vordergliedmaße in einer Abwärtsbewegung (siehe Abb. 29). Am Ende der Standphase auf drei Extremitäten (beide Vordergliedmaßen, rechte Hintergliedmaße) erreicht diese ihr Minimum. Nachfolgend schwingt der Rücken während der rechten sagittalen Doppelstandphase nach oben und erreicht sein Maximum an deren Ende. Nun erfolgt eine erneute Abwärtsbewegung, das Minimum wird zum Zeitpunkt des Endes der Standphase auf drei Extremitäten (beide Hintergliedmaßen, linke Vordergliedmaße) erreicht. Abschließend schwingt der Rücken während der linken sagittalen Doppelstandphase erneut nach oben und erreicht sein zweites dorsales Maximum an deren Ende. Innerhalb eines Schrittzyklus findet im Verlauf der Wirbelsäule von kranial nach kaudal ebenso wie in der Transversalebene eine zeitliche Verschiebung des Auftretens des ersten dorsalen Maximums statt. Im Bereich der kaudalen Wirbelsäule kommt es zu Beginn des Schrittzyklus zunächst zu einer Aufwärtsbewegung des Rückens, die durch die Stemmfunktion des rechten Hinterbeines während der Standphase auf drei Extremitäten (beide Vordergliedmaßen, rechte Hintergliedmaße) erklärt wird (siehe Abb. 30). Das Maximum wird zu Beginn der rechten sagittalen Doppelstandphase eingenommen.



**Abb. 30: Mittlere Bewegung des Markers Sacrum eines Hundes in der Sagittalebene. Eingezeichnet ist das Auftreten der ersten maximalen dorsalen Markerposition.**

Auch in der sagittalen Ebene folgt das Auftreten der Maxima und Minima einem strengen zeitlichen Ablauf. Unter Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der Time of Occurrence (TOO) der Extrema innerhalb eines Schrittzklus erwartet man Abstände von 0,0–25,0–50,0–75,0 %. Bezogen auf das 1. dorsale Maximum (dieses wurde zur Vereinfachung gleich 0,0 % des Schrittzklus gesetzt) lag die Verteilung im Schritt für beide Gruppen bei 24,8–51,1–76,3 % (siehe Tab. 26). Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen.

**Tab. 26: Zeitliches Auftreten der Extrema bei einem zweiphasigen Bewegungsablauf im Schritt.**

TOO bezogen auf das erste dorsale Maximum in %			
Markerposition	1. ventrales Maximum	2. dorsales Maximum	2. ventrales Maximum
<b>MW</b>	<b>24,8 %</b>	<b>51,1 %</b>	<b>76,3 %</b>
$\pm$	5,7	8,7	8,4
Min	4,1	12,2	28,9
Max	50,7	84,1	87,0

Nachfolgend wird der zuvor beschriebene zweiphasige Bewegungsablauf eines gesunden Hundes anhand aller neun Wirbelsäulenmarker dargestellt (siehe Abb. 31a-i).

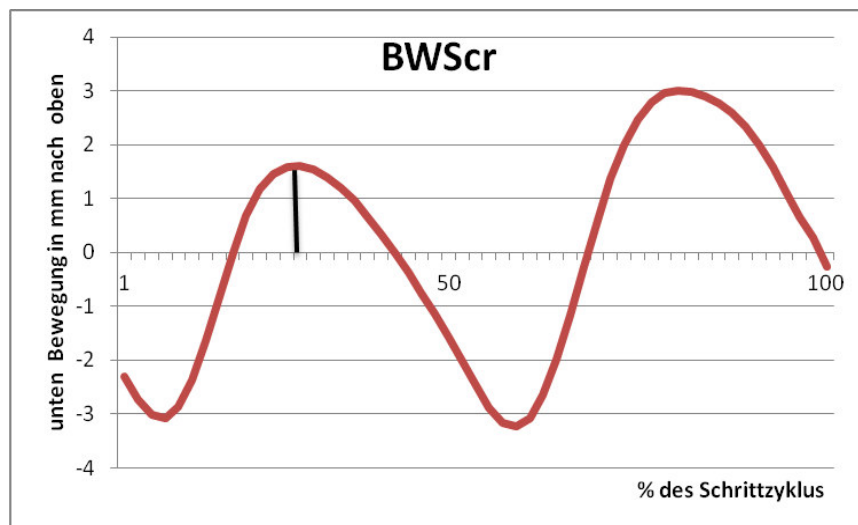


Abb. 31a)

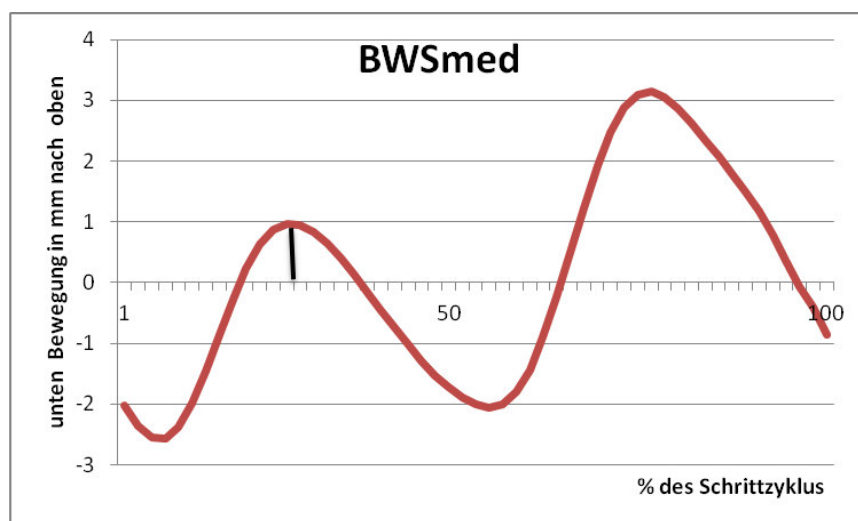


Abb. 31b)

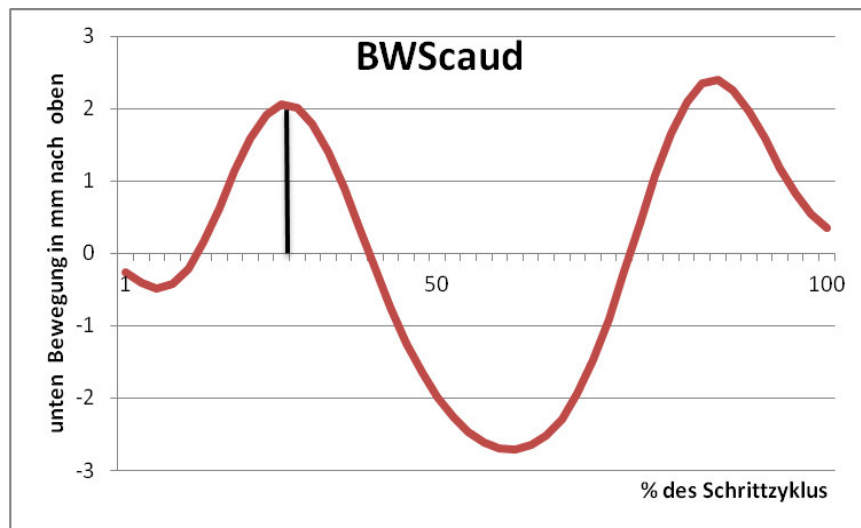


Abb. 31c)

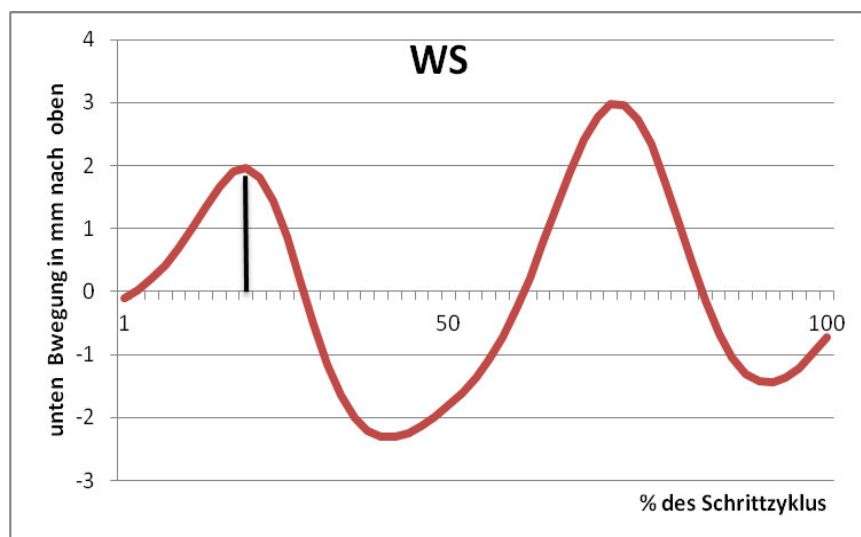


Abb. 31d)

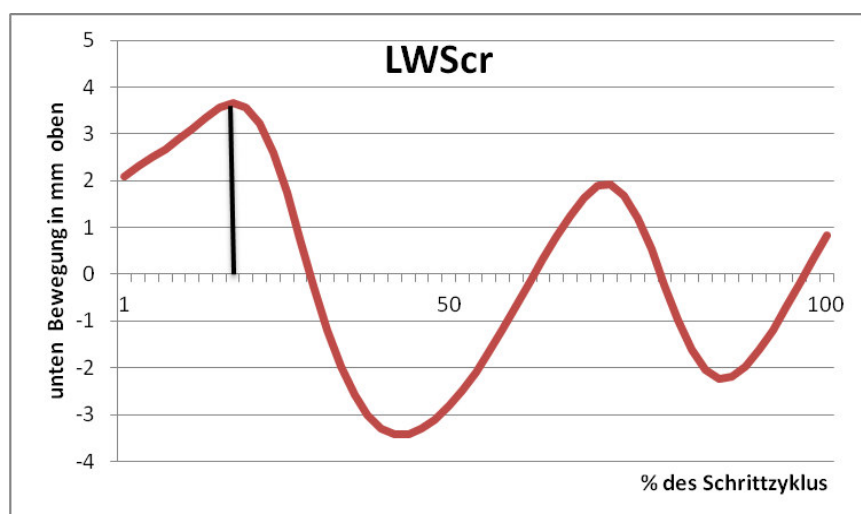


Abb. 31e)



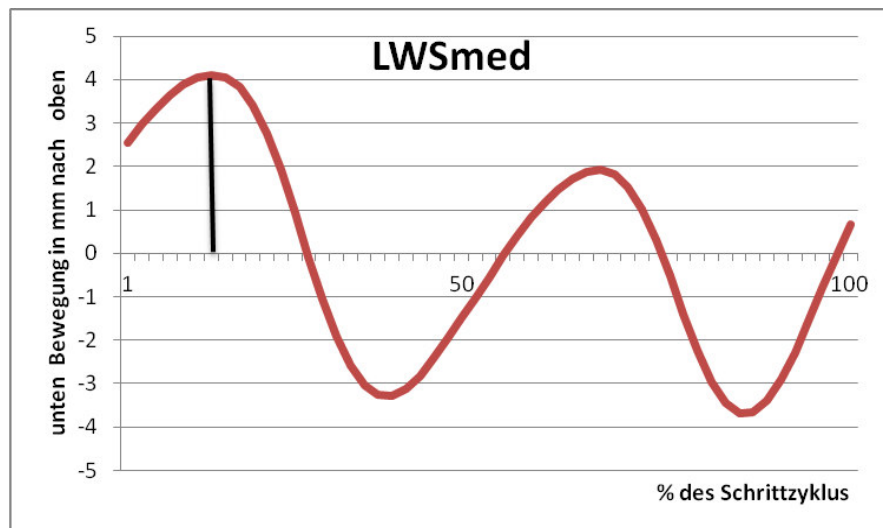


Abb. 31f)

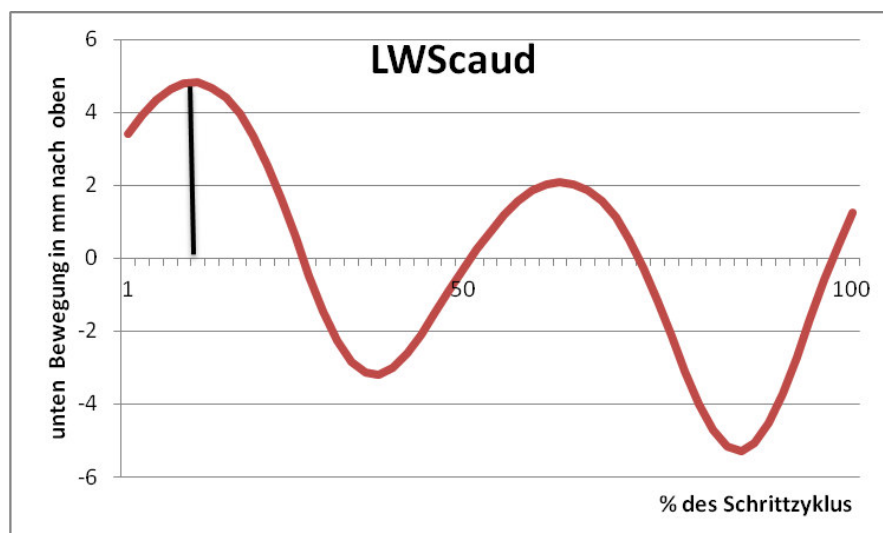


Abb. 31g)

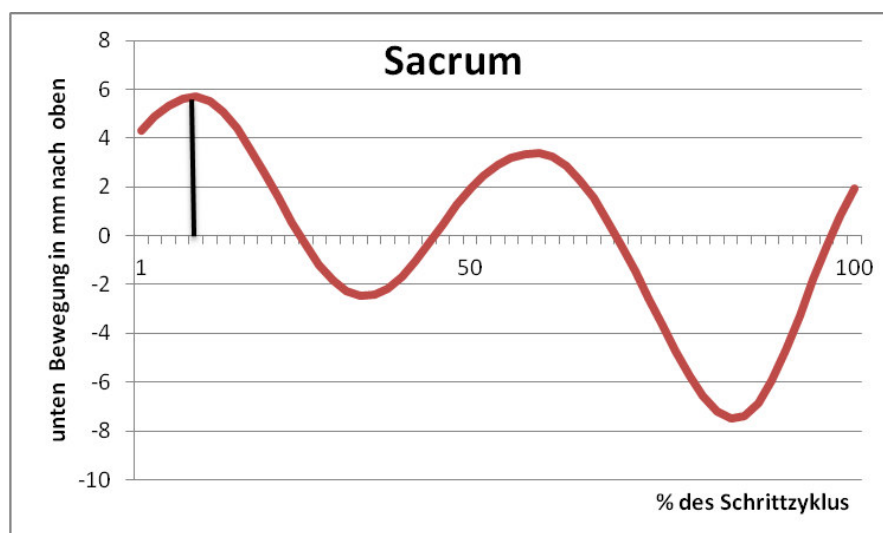


Abb. 31h)

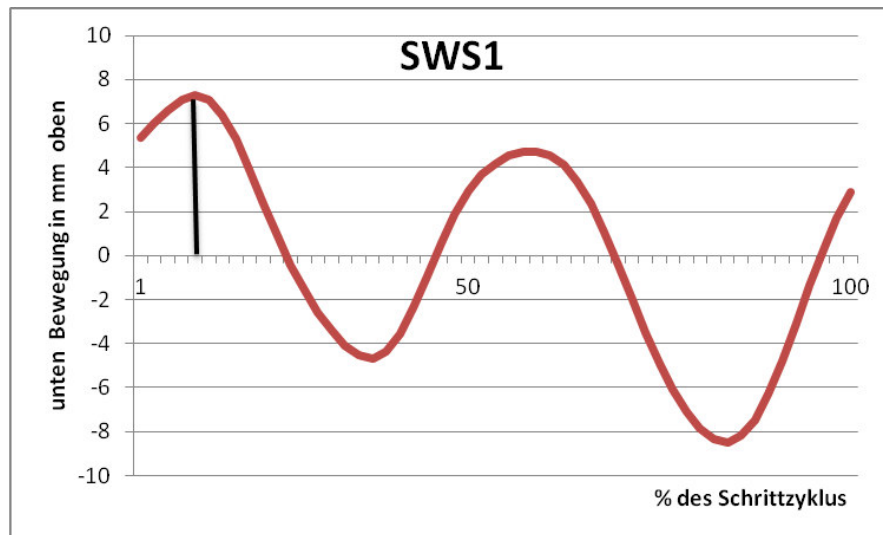


Abb. 31i)

**Abb. 31a-i): Mittlere Bewegung der Wirbelsäulenmarker BWS1 eines Hundes in der Sagittalebene, zweiphasiger Bewegungsablauf. Gekennzeichnet ist die Verlagerung des ersten dorsalen Maximums im Verlauf der Wirbelsäule nach vorne.**

### 3.2.1.2. Trab

Im Trab zeigte sich ebenfalls ein zweiphasiger Bewegungsablauf der Wirbelsäule. Wie in der Transversalebene beschrieben kam es im Trab jedoch zu keiner zeitlichen Verschiebung des Auftretens der Maxima und Minima zwischen der kranialen und kaudalen Wirbelsäule. Die maximalen Positionen traten zum Zeitpunkt des Wechsels zwischen den beiden diagonalen Standphasen, die minimalen Positionen zum Zeitpunkt der Hälfte der diagonalen Standphasen auf. Hinsichtlich des zeitlichen Auftretens der Maxima und Minima bezogen auf das 1. dorsale Maximum ergaben sich im Trab Werte von 23,7–50,1–75,9 % (siehe Tab. 27). Es bestand kein nennenswerter Unterschied zwischen der Bewegung im Schritt (Tab. 26) und im Trab (Tab. 27) und zwischen den beiden Gruppen.

**Tab. 27: Zeitliches Auftreten der Extreme bei einem zweiphasigen Bewegungsablauf im Trab.**

TOO bezogen auf das erste dorsale Maximum in %			
Markerposition	1. ventrales Maximum	2. dorsales Maximum	2. ventrales Maximum
<b>MW</b>	<b>23,7 %</b>	<b>50,1 %</b>	<b>75,9 %</b>
$\pm$	4,2	5,1	5,2
Min	6,1	19,4	36,1
Max	34,4	69,7	94,7

### 3.2.2. Quantitative Beschreibung der Rückenbewegung

Es erfolgen zunächst für beide Gruppen getrennt die Betrachtung des Bewegungsumfanges nach oben und nach unten sowie der gesamte Bewegungsumfang einer jeweiligen Markerposition und nachfolgend der Vergleich zwischen den beiden Gruppen.

#### 3.2.2.1. Gruppe 1 (gesund), Gangartenvergleich

Der Bewegungsumfang der einzelnen Marker nach dorsal und ventral unterschied sich weder im Schritt noch im Trab signifikant. Die folgende Tabelle 28 zeigt die mittlere maximale Markerbewegung der Gruppe 1 nach oben und nach unten im Schritt und im Trab.

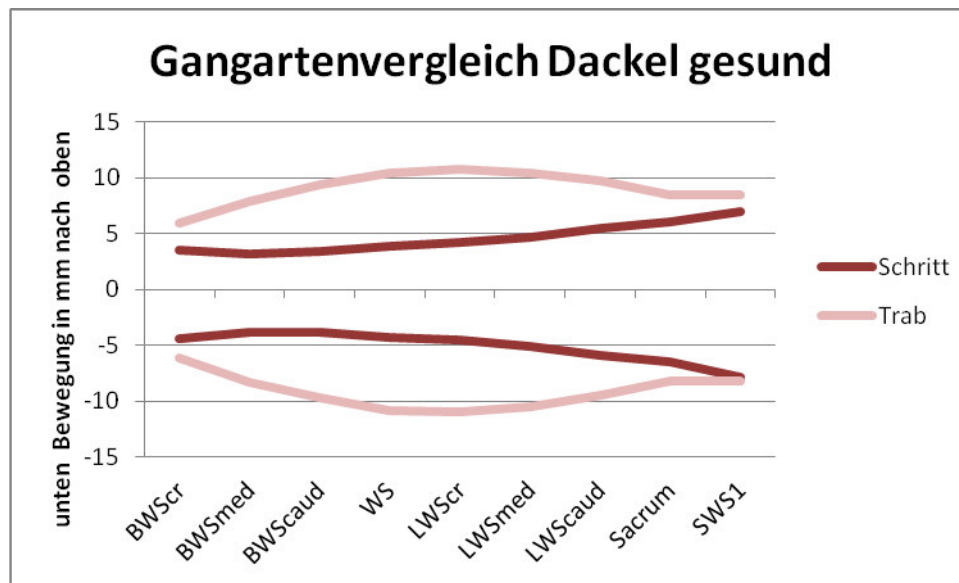
**Tab. 28: Mittlere maximale Markerbewegung von Gruppe 1 in der Sagittalebene im Schritt und im Trab.**

<b>Mittlere Markerbewegung nach dorsal im Schritt (mm) (n = 21)</b>									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScau	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWSI
<b>MW</b>	<b>3,5</b>	<b>3,2</b>	<b>3,4</b>	<b>3,8</b>	<b>4,2</b>	<b>4,7</b>	<b>5,5</b>	<b>6,1</b>	<b>7,0</b>
±	1,1	1,4	1,2	1,4	1,7	2,0	2,5	2,3	3,0
Min	2,2	1,6	1,6	1,7	1,7	1,8	2,0	2,4	3,0
Max	6,7	7,4	5,6	6,3	7,5	9,0	11,8	11,8	14,8
<b>Mittlere Markerbewegung nach ventral im Schritt (mm) (n = 21)</b>									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScau	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWSI
<b>MW</b>	<b>4,4</b>	<b>3,8</b>	<b>3,8</b>	<b>4,3</b>	<b>4,6</b>	<b>5,1</b>	<b>6,0</b>	<b>6,5</b>	<b>7,8</b>
±	1,6	2,2	1,4	1,4	1,5	1,7	1,9	2,3	2,8
Min	1,7	1,9	1,4	1,6	2,1	2,4	1,7	1,7	3,0
Max	8,0	11,5	6,7	7,1	8,6	9,0	10,3	11,6	13,7
p-Wert	0,068	0,360	0,350	0,527	0,509	0,523	0,548	0,588	0,368
<b>Mittlere Markerbewegung nach dorsal im Trab (mm) (n = 21)</b>									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScaud	Sacrum	SWSI
<b>MW</b>	<b>5,9</b>	<b>7,8</b>	<b>9,4</b>	<b>10,5</b>	<b>10,7</b>	<b>10,5</b>	<b>9,8</b>	<b>8,5</b>	<b>8,4</b>
±	2,4	2,3	2,5	2,8	3,0	3,0	2,8	2,8	3,0
Min	2,1	2,8	2,7	4,6	3,8	4,2	4,5	4,7	4,0
Max	12,4	14,1	12,9	14,9	15,4	15,1	15,7	15,2	16,4
<b>Mittlere Markerbewegung nach ventral im Trab (mm) (n = 21)</b>									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScaud	Sacrum	SWSI
<b>MW</b>	<b>6,1</b>	<b>8,3</b>	<b>9,7</b>	<b>10,8</b>	<b>11,0</b>	<b>10,5</b>	<b>9,4</b>	<b>8,2</b>	<b>8,2</b>
±	2,8	3,4	2,5	3,0	3,1	3,0	2,8	3,1	2,6
Min	2,6	3,0	3,3	4,2	4,6	4,6	4,6	3,1	3,9
Max	15,1	20,1	14,0	16,8	16,1	16,2	14,1	15,6	12,1
p-Wert	0,846	0,630	0,726	0,717	0,751	0,998	0,709	0,738	0,797

Der ROM im Schritt bewegte sich zwischen 7,1 mm am Marker BWSmed und 14,8 mm am Marker SWS1. Im Trab ergaben sich Werte zwischen 12,0 mm am Marker BWScr und 21,7 mm am Marker LWScr (siehe Tab. 29 und Abb. 32). Der Bewegungsumfang im Schritt nahm ausgehend von BWScr über die gesamte Länge der Wirbelsäule nahezu kontinuierlich zu. Im Trab nahm der Bewegungsumfang bis zum Marker LWScr zu, um dann in der kaudalen Wirbelsäule wieder kontinuierlich abzunehmen. Bis auf den Marker SWS1 war im Trab verglichen mit dem Schritt der Bewegungsumfang der gesamten Wirbelsäule signifikant vergrößert.

[illegible][illegible]

Abbildung 32 zeigt vergleichend die sagittale Rückenbewegung von Gruppe 1 im Schritt und im Trab.



**Abb. 32: Mittlerer Bewegungsumfang in der Sagittalebene der Gruppe 1 im Gangartenvergleich.**

### 3.2.2.2. Gruppe 2 (krank), Gangartenvergleich

Der Bewegungsumfang der einzelnen Marker nach dorsal und ventral unterschied sich auch bei den kranken Tieren weder im Schritt noch im Trab signifikant. Die folgende Tabelle 30 zeigt die mittlere maximale Markerbewegung der kranken Dackel nach oben und nach unten im Schritt und im Trab.

**Tab. 30: Mittlere maximale Markerbewegung von Gruppe 2 in der Sagittalebene im Schritt und im Trab.**

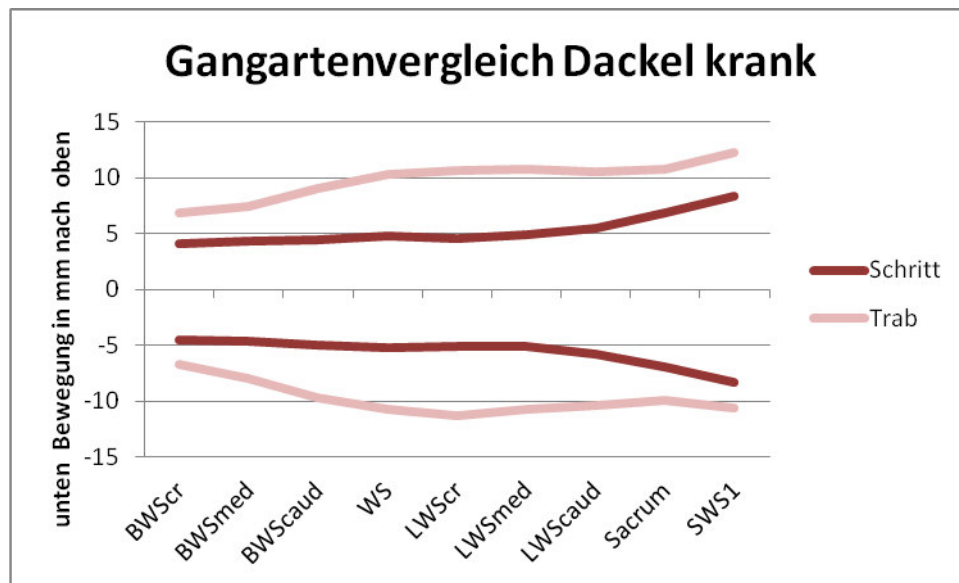
Mittlere Markerbewegung nach dorsal im Schritt (mm) (n = 19)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScau	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWSI
<b>MW</b>	<b>4,1</b>	<b>4,3</b>	<b>4,5</b>	<b>4,8</b>	<b>4,6</b>	<b>5,0</b>	<b>5,5</b>	<b>6,8</b>	<b>8,8</b>
±	1,7	1,8	2,0	2,4	2,9	2,8	2,7	3,9	5,7
Min	2,1	1,2	1,5	1,5	1,0	1,6	1,2	1,6	1,5
Max	8,8	8,4	8,5	9,2	11,4	11,9	10,8	14,5	22,8
Mittlere Markerbewegung nach ventral im Schritt (mm) (n = 19)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScau	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWSI
<b>MW</b>	<b>4,5</b>	<b>4,7</b>	<b>5,0</b>	<b>5,2</b>	<b>5,1</b>	<b>5,1</b>	<b>5,8</b>	<b>6,9</b>	<b>8,8</b>
±	1,9	2,3	2,4	2,3	2,5	2,4	2,7	4,2	5,9
Min	0,3	1,5	1,5	2,1	1,1	1,2	1,5	2,0	1,0
Max	8,4	10,5	10,5	9,1	9,3	9,0	10,9	16,3	22,9
p-Wert Seitenvergleich	0,531	0,591	0,446	0,559	0,545	0,847	0,762	0,934	0,978
Mittlere Markerbewegung nach dorsal im Trab (mm) (n = 15)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScaud	Sacrum	SWSI
<b>MW</b>	<b>6,9</b>	<b>7,5</b>	<b>9,0</b>	<b>10,3</b>	<b>10,6</b>	<b>10,8</b>	<b>10,5</b>	<b>10,8</b>	<b>12,3</b>
±	3,5	3,3	3,8	4,3	4,7	4,7	4,9	4,9	6,2
Min	2,2	3,3	4,8	5,4	6,3	5,9	4,9	2,9	3,5
Max	13,9	13,9	16,6	20,9	22,0	21,4	23,5	24,0	28,4
Mittlere Markerbewegung nach ventral im Trab (mm) (n = 15)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScaud	Sacrum	SWSI
<b>MW</b>	<b>6,8</b>	<b>8,0</b>	<b>9,7</b>	<b>10,7</b>	<b>11,3</b>	<b>10,8</b>	<b>10,4</b>	<b>10,0</b>	<b>10,7</b>
±	2,6	3,0	4,1	4,1	4,1	3,9	3,8	3,9	3,9
Min	2,7	4,1	3,2	3,8	5,3	6,1	4,5	4,2	4,2
Max	9,9	14,5	19,7	19,8	20,6	19,5	18,1	19,0	19,9
p-Wert Seitenvergleich	0,936	0,669	0,644	0,773	0,685	1,000	0,952	0,613	0,392



Der ROM im Schritt bewegte sich zwischen 8,7 mm am Marker BWScr und 17,6 mm am Marker SWS1. Im Trab ergaben sich Werte zwischen 13,6 mm am Marker BWScr und 22,9 mm am Marker SWS1 (siehe Tab. 31). Der Bewegungsumfang im Schritt nahm ebenso wie bei den gesunden Dackeln über die gesamte Länge der Wirbelsäule kontinuierlich zu (siehe Abb. 33). Im Trab nahm der Bewegungsumfang bis zum Marker LWScr zu, um dann bis zum Sacrum hin abzunehmen und im Bereich von SWS1 einen erneuten Anstieg zu verzeichnen. Bis auf den Marker SWS1 war auch bei den kranken Dackeln im Trab im Vergleich zum Schritt der Bewegungsumfang der gesamten Wirbelsäule signifikant vergrößert.



In Abbildung 33 ist vergleichend die sagittale Rückenbewegung der Gruppe 2 im Schritt und im Trab dargestellt.



**Abb. 33: Mittlerer Bewegungsumfang in der Sagittalebene der Gruppe 2 im Gangartenvergleich.**

### 3.2.2.3. Gruppenvergleich

Nachfolgende Tabelle 32 zeigt die mittlere Markerbewegung beider Gruppen nach dorsal und ventral vergleichend im Schritt. Gruppe 2 wies bei allen neun Wirbelsäulenmarkern die größere Markerbewegung auf. Im Bereich der kranialen Wirbelsäule (Marker BWScr, BWSmed, BWScaud und WS) waren die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen am größten. Gruppe 2 zeigte am Marker BWScaud eine signifikant vergrößerte Markerbewegung sowohl in dorsaler als auch in ventraler Richtung. Im Bereich der Marker BWScr und BWSmed war die Markerbewegung nach dorsal, im Bereich des Markers WS die Markerbewegung nach ventral signifikant vergrößert.

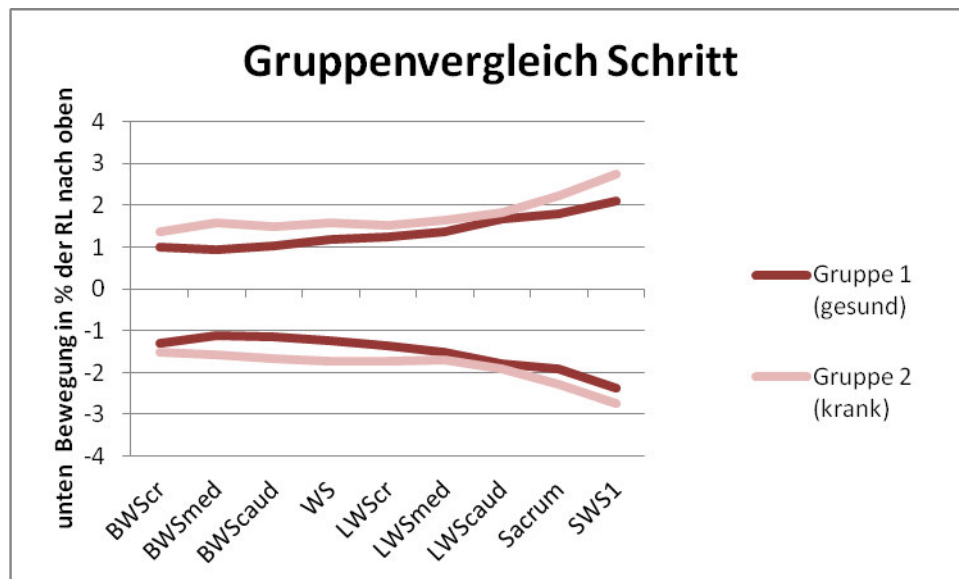
Tab. 32: Mittlere Markerbewegung beider Gruppen in der Sagittalebene im Schritt.

Mittlere Markerbewegung nach dorsal im Schritt Gruppe 1 (gesund) (% der Rückenlänge) (n = 21)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWSI
MW	1.0	1.0	1.0	1.2	1.3	1.4	1.7	1.8	2.1
+	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.8	0.7	0.9
Min	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7
Max	1.6	1.7	1.8	2.0	2.0	2.4	3.9	3.0	3.8
Mittlere Markerbewegung nach dorsal im Schritt Gruppe 2 (krank) (% der Rückenlänge) (n = 19)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWSI
MW	1.4	1.6	1.5	1.6	1.5	1.7	1.8	2.2	2.7
+	0.6	0.8	0.7	0.8	1.0	0.9	0.9	1.3	1.9
Min	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5
Max	2.9	3.5	2.9	3.1	3.8	4.0	3.6	4.8	7.6
Rel. Diff. zw. den Gruppen	36.3 %	51.9 %	43.1 %	35.6 %	22.8 %	19.1 %	8.7 %	24.2 %	30.1 %
p-Wert Gruppenvergleich	0.02	0.007	0.022	0.062	0.266	0.323	0.597	0.217	0.195
Mittlere Markerbewegung nach ventral im Schritt Gruppe 1 (gesund) (% der Rückenlänge) (n = 21)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWSI
MW	1.3	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.8	1.9	2.4
+	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.9
Min	0.5	0.5	0.4	0.4	0.7	0.6	0.4	0.4	0.7
Max	2.7	2.6	1.9	2.1	2.3	2.5	3.4	3.0	3.6
Mittlere Markerbewegung nach ventral im Schritt Gruppe 2 (krank) (% der Rückenlänge) (n = 19)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWSI
MW	1.5	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.9	2.3	2.7
+	0.6	0.8	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	1.4	2.0
Min	0.1	0.5	0.5	0.6	0.4	0.4	0.5	0.7	0.3
Max	2.8	3.5	3.5	3.0	3.1	3.0	3.6	5.4	7.6
Rel. Diff. zw. den Gruppen	14.4 %	40.1 %	45.0 %	39.2 %	26.7 %	13.8 %	6.5 %	18.7 %	15.8 %
p-Wert Gruppenvergleich	0.358	0.059	0.024	0.031	0.125	0.368	0.648	0.325	0.466

Gruppe 2 zeigte im Bereich der Marker BWSmed, BWScaud und WS einen signifikant höheren ROM (siehe Tab. 33 und Abb. 34). Betrachtet man die relative Differenz zwischen den beiden Gruppen, so war der Bewegungsumfang von Gruppe 2 im Vergleich zu Gruppe 1 zwischen 14,3–45,5 % erhöht (Tab. 33).

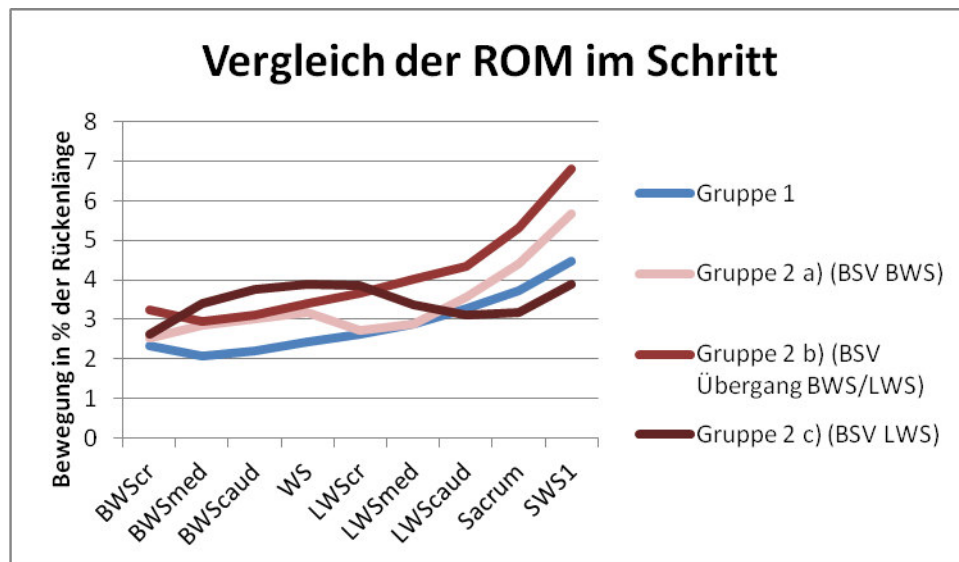
Tab. 33: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Sagittalebene beider Gruppen im Schritt.

Mittlerer Bewegungsumfang Gruppe 1 (gesund) im Schritt (% der Rückenlänge) (n = 21)									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>2,3</b>	<b>2,1</b>	<b>2,2</b>	<b>2,4</b>	<b>2,6</b>	<b>2,9</b>	<b>3,3</b>	<b>3,7</b>	<b>4,5</b>
±	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,2	1,7
Min	1,1	0,9	0,8	0,9	1,2	1,0	0,9	1,0	1,5
Max	4,1	4,3	3,5	4,0	4,1	4,3	5,5	5,3	7,0
Mittlerer Bewegungsumfang Gruppe 2 (krank) im Schritt (% der Rückenlänge) (n = 19)									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>2,9</b>	<b>3,0</b>	<b>3,2</b>	<b>3,3</b>	<b>3,3</b>	<b>3,4</b>	<b>3,7</b>	<b>4,5</b>	<b>5,5</b>
±	1,1	1,3	1,4	1,5	1,8	1,7	1,8	2,6	3,9
Min	0,6	0,9	1,0	0,9	0,8	0,9	1,1	1,2	0,8
Max	4,7	5,4	5,3	5,7	6,9	7,0	6,8	10,3	15,2
Rel. Diff. zw. den Gruppen	23,9 %	45,5 %	44,1 %	37,4 %	24,8 %	16,3 %	14,3 %	21,3 %	22,5 %
p-Wert Gruppenvergleich	0,094	0,018	0,016	0,034	0,169	0,306	0,325	0,249	0,313



**Abb. 34: Mittlerer Bewegungsumfang in der Sagittalebene beider Gruppen im Schritt.**

Nachfolgend wird, wie bereits für die Transversalebene beschrieben, die Gruppe 2 (krank) nach Lokalisation des Bandscheibenvorfalles in die drei oben genannten Untergruppen unterteilt. Auch im Vergleich der drei Untergruppen mit der gesunden Gruppe wiesen die kranken Tiere nahezu immer einen erhöhten Bewegungsumfang auf (siehe Abb. 35). Lediglich im Bereich LWSmed zeigte Gruppe 2 a), im Bereich LWScaud, Sacrum und SWS1 Gruppe 2 c) einen erniedrigten Bewegungsumfang, der jedoch nicht signifikant war. Gruppe 2 b) zeigte im Bereich der Marker BWScr und BWSmed eine signifikant vergrößerte Dorsalbewegung und Gruppe 2 c) im Bereich der Marker BWScaud und WS eine signifikant vergrößerte Bewegung nach ventral. Anders als in der Transversalebene kam es bei keiner der drei Gruppen zu einem signifikant vergrößerten ROM. Die Einzelwerte der drei Untergruppen sind in Tabelle 46 – 48 im Anhang aufgeführt.



**Abb. 35: Vergleich des ROM der drei Untergruppen mit Gruppe 1 (gesund) in der Sagittalebene für die neun Wirbelsäulenmarker im Schritt.**

Auch im Trab wies die Gruppe der kranken Dackel bei allen neun Wirbelsäulenmarkern die größere Markerbewegung auf (siehe Tab. 34). Im Bereich der kaudalen Wirbelsäule (Marker Sacrum und SWS1) war die Markerbewegung nach ventral und dorsal signifikant vergrößert.



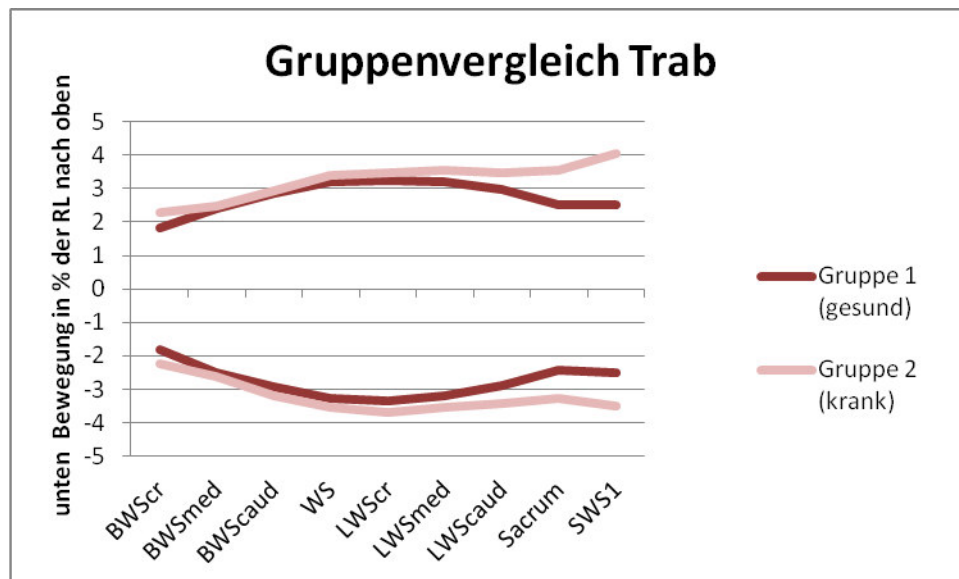
**Tab. 34: Mittlere Markerbewegung beider Gruppen in der Sagittalebene im Trab.**

Mittlere Markerbewegung nach dorsal im Trab Gruppe 1 (gesund) (% der Rückenlänge) (n = 21)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>1.8</b>	<b>2.4</b>	<b>2.9</b>	<b>3.2</b>	<b>3.3</b>	<b>3.2</b>	<b>3.0</b>	<b>2.5</b>	<b>2.5</b>
±	0.7	0.7	0.9	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.9
Min	0.6	0.8	0.8	1.2	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
Max	3.2	3.8	4.1	4.8	5.1	4.9	4.3	3.8	4.1
Mittlere Markerbewegung nach dorsal im Trab Gruppe 2 (krank) (% der Rückenlänge) (n = 15)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>2.3</b>	<b>2.5</b>	<b>3.0</b>	<b>3.4</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	<b>3.5</b>	<b>3.6</b>	<b>4.0</b>
±	1.2	1.1	1.3	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	2.1
Min	0.6	0.9	1.6	1.8	2.0	2.0	1.6	1.0	1.2
Max	4.6	4.7	5.5	7.0	7.3	7.1	7.8	8.0	9.5
Rel. Diff. zw. den Gruppen	25.8 %	3.5 %	3.2 %	5.5 %	6.4 %	10.8 %	16.8 %	41.9 %	59.2 %
p-Wert Gruppenvergleich	0.188	0.791	0.797	0.664	0.636	0.429	0.253	0.028	0.017
Mittlere Markerbewegung nach ventral im Trab Gruppe 1 (gesund) (% der Rückenlänge) (n = 21)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>1.8</b>	<b>2.5</b>	<b>2.9</b>	<b>3.3</b>	<b>3.4</b>	<b>3.2</b>	<b>2.9</b>	<b>2.4</b>	<b>2.5</b>
±	0.7	0.9	0.9	1.0	1.01	1.0	0.9	0.9	0.9
Min	0.6	0.9	0.9	1.2	1.3	1.3	1.2	1.0	1.2
Max	3.4	4.6	4.6	5.1	5.4	5.4	4.6	3.9	4.0
Mittlere Markerbewegung nach ventral im Trab Gruppe 2 (krank) (% der Rückenlänge) (n = 15)									
Marker	BWScr	BWSmed	BWScaud	WS	LWScr	LWSmed	LWScaud	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>2.2</b>	<b>2.6</b>	<b>3.2</b>	<b>3.5</b>	<b>3.7</b>	<b>3.5</b>	<b>3.4</b>	<b>3.3</b>	<b>3.5</b>
±	0.9	1.1	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3
Min	0.7	1.4	1.1	1.3	1.8	2.0	1.5	1.4	1.4
Max	3.3	4.8	6.6	6.6	6.9	6.5	6.0	6.4	6.6
Rel. Diff. zw. den Gruppen	22.1 %	5.3 %	8.2 %	7.1 %	10.2 %	11.0 %	19.5 %	36.5 %	40.0 %
p-Wert Gruppenvergleich	0.143	0.685	0.522	0.560	0.406	0.383	0.145	0.035	0.009

Gruppe 2 zeigte im Bereich der Marker Sacrum und SWS1 zudem einen signifikant erhöhten ROM (siehe Tab. 35 und Abb. 36). Betrachtet man die relative Differenz zwischen den beiden Gruppen, so war der Bewegungsumfang von Gruppe 2 im Vergleich zu Gruppe 1 zwischen 4,4–49,7 % erhöht (Tab. 35).

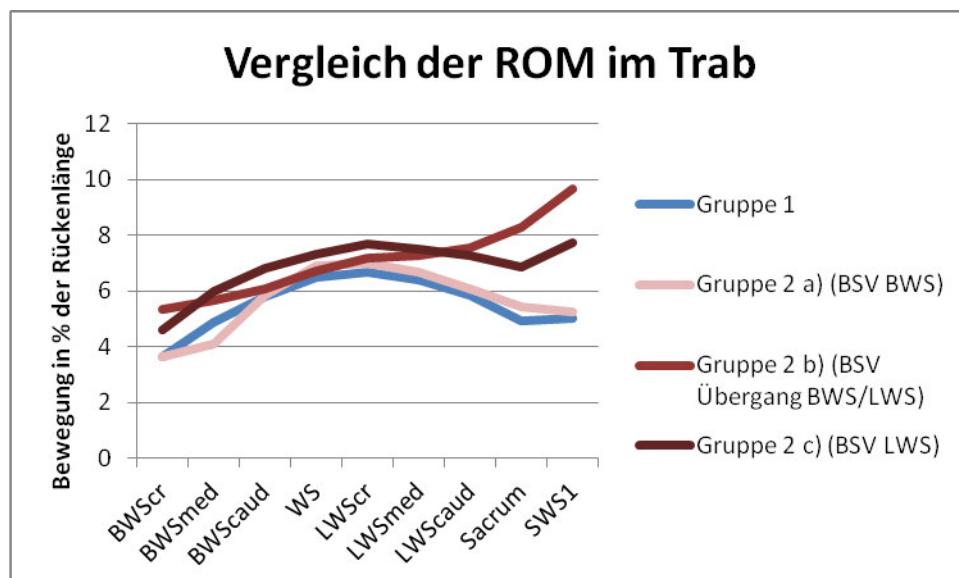
Tab. 35: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Sagittalebene beider Gruppen im Trab.

Mittlerer Bewegungsumfang Gruppe 1 (gesund) im Schritt (% der Rückenlänge) (n = 21)									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>3,6</b>	<b>4,9</b>	<b>5,8</b>	<b>6,5</b>	<b>6,7</b>	<b>6,4</b>	<b>5,8</b>	<b>4,9</b>	<b>5,0</b>
±	1,4	1,6	1,7	1,9	2,1	2,0	1,8	1,7	1,7
Min	1,3	1,7	1,7	2,5	2,4	2,5	2,6	2,6	2,5
Max	6,3	7,9	8,7	9,7	10,5	10,3	8,9	7,7	8,1
Mittlerer Bewegungsumfang Gruppe 2 (krank) im Schritt (% der Rückenlänge) (n = 15)									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>4,5</b>	<b>5,0</b>	<b>6,1</b>	<b>6,9</b>	<b>7,2</b>	<b>7,1</b>	<b>6,9</b>	<b>6,9</b>	<b>7,5</b>
±	2,0	1,8	2,5	2,8	2,9	2,8	2,9	3,0	3,4
Min	1,3	1,7	2,7	3,1	3,9	4,1	3,1	2,4	2,5
Max	7,6	8,7	12,1	13,6	14,2	13,6	13,9	14,4	16,1
Rel. Diff. zw. den Gruppen	23,9 %	4,4 %	5,7 %	6,3 %	8,3 %	10,9 %	18,1 %	39,2 %	49,7 %
p-Wert Gruppenvergleich	0,156	0,725	0,639	0,602	0,502	0,393	0,188	0,028	0,016



**Abb. 36: Mittlerer Bewegungsumfang in der Sagittalebene beider Gruppen im Trab.**

Im Vergleich der drei Untergruppen mit Gruppe 1 war auch hier nahezu bei allen Markern ein erhöhter ROM der kranken Tiere erkennbar (siehe Abb. 37). Lediglich Gruppe 2 a) zeigte im Bereich BWSr und BWSmed einen leicht erniedrigten ROM. Signifikante Werte ergaben sich nur für Gruppe 2 b) im Bereich Sacrum und SWS1.



**Abb. 37: Vergleich des ROM der drei Untergruppen mit Gruppe 1 (gesund) in der Sagittalebene für die neun Wirbelsäulenmarker im Trab.**

## **V. DISKUSSION**

### **1. Patientengut**

Das Ziel dieser Studie war es, die Rückenbewegung chondrodystropher Rassen nach Hemilaminektomie mittels einer objektiven Ganganalyse zu untersuchen und festzustellen, inwiefern operative Eingriffe zur Therapie eines Bandscheibenvorfalles die Bewegung des Rückens beeinflussen. Dackel haben unter den Vertretern der chondrodystrophen Rassen eine zehn- bis zwölfmal höhere Prädisposition, an einem Bandscheibenvorfall zu erkranken (Goggin et al. 1970), weshalb vorrangig diese Rasse für die vorliegende Studie ausgewählt wurde. Zudem wurden in Gruppe 2 drei weitere Vertreter chondrodystropher Rassen in die Untersuchungen mit einbezogen, um eine ausreichend große Gruppenanzahl zu erlangen. Die vorliegenden Ergebnisse können also nur unter Vorbehalt für die Rasse Dackel geltend gemacht werden. Eine separate Überprüfung der Kurvenverläufe der drei Hunde zeigte jedoch keine Unterschiede im Vergleich zu den Dackeln, sodass die Ergebnisse somit vergleichbar und damit auch zusammenfassbar sind. Zudem wurden die Werte im Gruppenvergleich auf die Rückenlänge genormt, sodass die teilweise unterschiedliche Größe der drei Hunde im Vergleich zu der Größe der Dackel ebenfalls keine Auswirkungen auf die Ergebnisse hatte. Die radiologische Untersuchung sowie deren Ein- und Ausschlusskriterien wurden bereits im Kapitel Material & Methoden aufgeführt. Das radiologische Vorliegen einer Enchondrosis intervertebralis führte im Rahmen dieser Studie zu keinem Ausschluss, da verschiedene Studien bereits zeigen konnten, dass im Rahmen der radiologischen Untersuchung nur ein Teil der degenerierten oder kalzifizierten Bandscheiben erkennbar ist und degenerative Vorgänge der Bandscheiben auch ohne sichtbare Kalzifizierung ablaufen können (Burk 1989, Stigen 1996). Spondylosen waren in der Gruppe 1 ein Ausschlusskriterium, wurden jedoch in Gruppe 2 in die Untersuchungen mit einbezogen. Spondylosen weisen auf eine stärkere Belastung bestimmter Bereiche der Wirbelsäule hin (Breit und Kunzel 2001). Zudem wurde ein Zusammenhang zwischen Spondylosen und Übergangswirbeln und einer daraus resultierenden veränderten Rückenbewegung gefunden (Gradner et al. 2007). Daher wurden in Gruppe 1 auch Patienten mit vorliegenden überzähligen oder Übergangswirbeln von der Untersuchung ausgeschlossen, da hieraus eine Beeinflussung der

Rückenbewegung resultieren könnte. In Gruppe 2 wurden zwei Patienten trotz Vorliegen eines Übergangs- bzw. überzähligen Wirbels mit in die Studie einbezogen, um eine ausreichend große Patientenzahl gewährleisten zu können.

Alter, Gewicht, und Geschlecht waren in beiden Gruppen annähernd gleichmäßig verteilt und sollten daher keinen Einfluss auf die vorliegenden Ergebnisse haben. Hinsichtlich der Körpermaße jedoch unterschieden sich die beiden Gruppen teilweise deutlich. Die Rückenlänge der gesunden Dackel war signifikant länger als die der kranken Tiere. Damit decken sich die Befunde der vorliegenden Studie mit denen von Levine (2006), der zeigte, dass eine kürzere Rückenlänge das Risiko eines Bandscheibenvorfalles erhöht. Zudem zeigt die Betrachtung des Verhältnisses von Rückenlänge zu Kruppen- bzw. Widerristhöhe, dass die Gruppe der gesunden Dackel im Verhältnis zur Beinlänge einen längeren Rücken aufweist. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Studie von Jensen and Ersboll (2000), wonach eine größere Körperlänge in Kombination mit einer kürzeren Beinlänge das Risiko eines Bandscheibenvorfalles verringert. Damit wird auch in der vorliegenden Studie die ursprüngliche Vermutung, eine vergrößerte Rückenlänge würde das Risiko eines Bandscheibenvorfalles erhöhen, nicht bestätigt.

## **2. Kinetik**

Um eine ungleichmäßige Belastung zwischen den Vorder- bzw. Hintergliedmaßen bei den Probanden beider Gruppen ausschließen zu können, wurde zum einen für die Standphasendauer (SD), die vertikale Spitzenkraft (PVF) und den vertikalen Impuls (VI) jeweils ein Vergleich zwischen der rechten und linken Vorder- bzw. Hintergliedmaße durchgeführt. Dieselben Parameter wurden unter anderem in den Studien von Abdelhadi et al. (2013) und Besancon et al. (2004) verwendet. Die Standphasendauer der Vordergliedmaßen war Gruppe 2 signifikant unterschiedlich. Der Unterschied bewegte sich jedoch in einem klinisch nicht relevanten Bereich ( $< 5\%$ ). Als mögliche Ursache für die Varianz könnte in Frage kommen, dass die kranken Tiere aufgrund einer verringerten Belastung der Hintergliedmaßen und aufgrund von Problemen in der Koordination auf dem Laufband die Vordergliedmaßen ungleichmäßig belasten (Einzelwerte siehe Tabelle 38 im Anhang). Dies war bei einigen wenigen Hunden der Fall. Auch die Gruppengröße könnte für die Varianz der Ergebnisse verantwortlich sein, die

Standardabweichung lag für die Vordergliedmaßen der erkrankten Tiere etwas höher. Des Weiteren wurde als spezifischer Parameter zum Ausschluss subklinischer Lahmheiten der Symmetrieindex (SI) für die PVF und den VI berechnet. Dieser spezifische Parameter wurde auch in den Studien von Robinson (1987), Voss et al. (2007) und Berger et al. (2015) zur Detektion subklinischer Lahmheiten herangezogen. In Gruppe 2 zeigte ein Proband eine Lahmheit der rechten Vordergliedmaße (welche mit einem SI von 9,33 als ggr. einzustufen ist) und zwei Probanden eine Lahmheit der linken Hintergliedmaße (welche mit einem SI von 21,30 bzw. 37,27 als mittelgradig einzustufen sind) (Einzelwerte der Hunde sind in Tabelle 39 im Anhang aufgeführt). Die Lahmheit der Hintergliedmaße war bei einem der Patienten mit der Lateralisation der Hemilaminektomie zu vereinbaren, es scheint hier durch die Operation zu Defiziten in der Bewegung der betroffenen Hintergliedmaße zu kommen. Der zweite Patient zeigte die Lahmheit auf der kontralateralen Seite. Je nach Schweregrad der präoperativen neurologischen Defizite sowie je nach Operationsverlauf kann es postoperativ durchaus zu Unterschieden in der neurologischen Regeneration zwischen den beiden Hintergliedmaßen kommen. Es ist also plausibel, dass Patienten nach Hemilaminektomie sowohl auf der betroffenen als auch auf der kontralateralen Seite eine verminderte Belastung aufweisen. Berechnungen aller Parameter unter Ausschluss dieser drei Patienten ergaben keine relevanten Unterschiede in den Ergebnissen, sodass davon ausgegangen wurde, dass der Einfluss der detektierten Lahmheiten auf das Gesamtergebnis zu vernachlässigen ist (Einzelwerte sind in Tabelle 41 im Anhang aufgeführt).

Im Vergleich der Standphasendauer innerhalb der Gruppen zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen zeigte sich, dass die mittlere Standphasendauer der Vordergliedmaßen in beiden Gruppen gegenüber den Hintergliedmaßen signifikant vergrößert ist. Dies deckt sich mit den Ergebnissen diverser Studien ((Bertram et al. 2000, Budsberg et al. 1987, McLaughlin 2001, Rumph et al. 1994) und gibt bereits erste Hinweise darauf, dass der Körperschwerpunkt des Dackels kranialer zu liegen kommt. Dies wird auch bei Betrachtung der PVF und des VI Impulses deutlich. In beiden Gruppen werden signifikant größere Werte für die Vordergliedmaßen im Vergleich zu den Hintergliedmaßen erreicht. Darüber hinaus lässt sich festhalten, dass die Hunde der Gruppe 2 im Bereich der

Vordergliedmaßen mehr, im Bereich der Hintergliedmaßen weniger Kraft als die gesunden Dackel aufnehmen. Dies lässt sich gut mit einer Umverteilung des Gewichtes nach kranial aufgrund der eventuell vorliegenden Koordinationsproblematik oder subklinischer neurologischer Defizite im Bereich der Hintergliedmaßen vereinbaren. Bei der separaten Betrachtung der Hintergliedmaßen in Gruppe 2 zeigt der Vergleich zwischen betroffener und kontralateraler Hintergliedmaße eine erniedrigte PVF und einen erniedrigten VI für die betroffene Hintergliedmaße. Die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant. Sutton et al. (2016) kamen in ihrer Studie zu dem Ergebnis, dass die PVF der kranken Hunde im Vergleich zur Kontrollgruppe für die Hintergliedmaßen erhöht war. Im Seitenvergleich der betroffenen zur kontralateralen Hintergliedmaße konnten sie eine signifikant erhöhte PVF für die betroffene Gliedmaße feststellen. Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse der vorliegenden Studie und der von Sutton et al. (2016) könnte zum einen die geringere Patientenzahl in der Studie von Sutton et al. (2016) sein ( $n = 6$  hemilaminotomisierte Tiere,  $n = 8$  Kontrolltiere), wodurch es zu einer größeren Varianz der Ergebnisse kommt, zum anderen wurden bei Sutton et al. (2016) Patienten mit persistierenden neurologischen Defiziten der Hintergliedmaßen (Drei Patienten zeigten milde, ein Patient schwere Ataxien, drei Patienten zeigten eine verzögerte, zwei Patienten eine fehlende Propriozeption) in die Studie mit eingeschlossen. Die Begründung der Autoren, dass diese Patienten Koordinationsschwierigkeiten im Bereich der Hintergliedmaßen aufweisen, daher unkontrolliert das Gewicht vermehrt auf die betroffene Gliedmaße verlagern und so eine größere PVF als auf der kontralateralen Seite zustande kommt, scheint im Hinblick auf die persistierenden (teilweise schwerwiegenden) neurologischen Defizite gerechtfertigt. In der vorliegenden Studie allerdings kann aufgrund der unauffälligen neurologischen Untersuchung davon ausgegangen werden, dass sich die verringerte PVF auf der betroffenen Seite klassisch im Sinne einer Lahmheit der erkrankten Gliedmaße begründet, da die Patienten aufgrund von z. B. postoperativer Muskelatrophie das Gewicht vermehrt auf die kontralaterale Seite (und die Vordergliedmaßen) verlagern. Die untersuchte Patientengruppe weist allerdings eine große Standardabweichung auf, sodass die Überprüfung dieser Werte weiteren Studien mit größerer Patientenzahl vorbehalten bleibt.

Zuletzt zeigt auch die Betrachtung der prozentualen Gewichtsverteilung der PVF



und des VI für die Vorder- und Hintergliedmaßen deutlich, dass kompensatorisch in Gruppe 2 das Gewicht vermehrt auf die Vordergliedmaßen umverteilt wird. In Gruppe 1 ergaben sich für die prozentuale Verteilung der PVF ungefähre Werte von 60 % zu 40 %, was den bisherigen Angaben in der Literatur entspricht (Budsberg et al. 1987, Hutton et al. 1969, Layer 2012, Roy 1971). Gruppe 2 zeigte eine prozentuale Gewichtsverteilung von 63,5 % zu 36,5 % für die PVF und für den VI, der Unterschied zwischen den Gruppen war für beide Parameter signifikant.

### **3. Kinematik**

In dieser Studie wurden für die Auswertung der kinematischen Daten 15 Schritte herangezogen, weil von einer höheren Varianz bzw. Inhomogenität der Schritte bei den erkrankten Hunden ausgegangen werden musste. In der Vorgängerstudie (Layer 2012) erschienen 10 Schritte ausreichend, es gab auch Studien, in denen nur 5 (Gradner et al. 2007) oder nur 6 (Budsberg et al. 1987) Schritte ausgewertet wurden. Die absoluten Werte wurden für den Rassevergleich auf die Rückenlänge bezogen, da dieser Parameter sich zwischen den beiden Gruppen nur geringfügig unterschied und angenommen wurde, dass sich die Wirbelsäule unabhängig von der Beinlänge bewegen kann. Voss (2011) berechnete in ihrer Studie aus dem Verhältnis der Körperlänge zur Widerristhöhe die „Body length Ratio“ und konnte zeigen, dass diese keinen Einfluss auf die auf einwirkenden Kräfte der Gliedmaßen hat.

#### **3.1. Transversalebene**

##### **3.1.1. Qualitative Beschreibung der transversalen Rückenbewegung**

Die Marker beschrieben in der Transversalebene in beiden Gangarten in beiden Gruppen grundsätzlich einen einphasigen Bewegungsablauf. Gradner et al. (2007) kamen in ihrer Studie zur Rückenbewegung von Malinois für die untersuchte Gangart Schritt zum gleichen Ergebnis. Das zeitliche Auftreten eines Maximums folgte einem strengen Ablauf: in der vorliegenden Studie betrug die Differenz der TOO zwischen den beiden Extremwerten im Mittel 52,2 %, Gradner et al. (2007) kamen auf einen Mittelwert von 49,3 % und in der Studie von Layer (2012) betrug der Abstand 50,9 %. Auffallend waren in der vorliegenden Studie im

Gruppenvergleich die deutlich größere Standardabweichung und die größere Spanne zwischen dem Minimal- und dem Maximalwert der Gruppe 2. Dies spricht für eine größere Heterogenität und ein inhomogeneres Gangbild dieser Gruppe. Ab dem lumbosakralen Übergang konnte eine inverse Bewegung der Marker festgestellt werden. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Studie von Layer (2012) und wurde auch beim Pferd als Gegensteuerung zur Verlagerung des Masseschwerpunktes am Rumpf beschrieben (Frewein et al. 2004).

Im Schritt kam es im Verlauf der Wirbelsäule von kranial nach kaudal zu einer zeitlichen Verlagerung des Auftretens des ersten Maximums nach hinten. Dies wurde bereits in mehreren Studien zur Rückenbewegung von Hunden und Pferden beschrieben (Faber et al. 2000, Gradner et al. 2007, Haussler et al. 2001, Layer 2012). In einer elektromyografischen Studie konnte gezeigt werden, dass es bei Hunden im Schritt zu einer aufeinanderfolgenden Aktivierung der Wirbelsäulenmuskulatur (M. multifidus lumborum und M. longissimus thoracis et lumborum) kommt, die im Einklang mit den wandernden Wellen der Seitwärtsbewegung der Wirbelsäule stehen (Schilling und Carrier 2010). Im Trab konnte in der eigenen Untersuchung keine zeitliche Verschiebung des Auftretens des ersten Maximums beobachtet werden. Auch hier kam Layer (2012) zum selben Ergebnis und Schilling et al. (2009, 2010) konnten feststellen, dass es im Trab zu einer synchronisierten Aktivierung der Muskeln kommt, die mit der stehenden Welle der Rumpfbiegung vereinbar ist. Es ist also davon auszugehen, dass die Grundform der Bewegung der Wirbelsäule im Schritt und im Trab auch nach einem operativen Eingriff im Bereich der Wirbelsäule erhalten bleibt.

In der vorliegenden Studie konnte zudem das Auftreten einer dreiphasigen Rückenbewegung im Bereich der kaudalen Wirbelsäule beschrieben werden. Diese trat bei Hunden beider Gruppen und in beiden Gangarten auf. Layer (2012) konnte diese Dreiphasigkeit in ihrer Studie ebenfalls feststellen und assoziierte diese mit der Rutenbewegung – die einphasige Amplitude der Rückenbewegung von kranial kommend wird von der kaudal von der Rute kommenden mehrphasigen Amplitude überlagert, es kommt zu einer Interferenz der beiden Bewegungsabläufe. Im Gruppenvergleich der eigenen Untersuchung zeigte sich, dass Gruppe 2 deutlich weniger zu einem dreiphasigen Bewegungsablauf in der kaudalen Wirbelsäule neigte. Im Vergleich der beiden Gruppen der eigenen Studie mit den beiden Gruppen Dackel (n = 13) und Labrador Retriever (n = 15) aus der

Studie von Layer (2012) fällt auf, dass Gruppe 2 der eigenen Studie ebenso wie die Gruppe der Labrador Retriever der Studie Layer (2012) für beide Gangarten ein gehäuftes Auftreten des einphasigen Bewegungsablaufes in der kaudalen Wirbelsäule im Vergleich zu den gesunden Hunden beider Studien zeigte (Schritt: Einphasigkeit Gruppe 1 14,0 %, Gruppe 2 47,0 %, Dackel Studie Layer (2012) 15,0 %, Labrador Retriever Studie Layer (2012) 47,0 %.; Trab: Einphasigkeit Gruppe 1 19,0 %, Gruppe 2 79,0 %, Dackel Studie Layer (2012) 31,0 %, Labrador Retriever Studie Layer (2012) 40,0 %) Die Labrador Retriever wiesen im Vergleich zu den Dackeln aus der Studie Layer (2012) den kürzeren Rücken auf und schienen dadurch in der kaudalen Wirbelsäule weniger schwingen zu können. Ursächlich für die vermehrte Einphasigkeit in der Gruppe der erkrankten Tiere könnte die im Zuge der Hemilaminektomie durchgeführte Entfernung der Facettengelenke sowie eines Teils des Wirbelbogens sein. Die veränderten Verhältnisse der Stabilität der Wirbelsäule und die vermutliche muskuläre Kompensation werden auf die restliche kaudale Wirbelsäule übertragen und führen zu einer verminderten Schwingung in der Transversalebene, sodass es zu einem gehäuftem Auftreten des einphasigen Bewegungsablaufes gekommen sein könnte.

Gruppe 1 der eigenen Studie zeigt im Vergleich zu den Dackeln aus der Studie von Layer (2012) eine annähernd gleiche prozentuale Verteilung zwischen einphasigem und dreiphasigem Bewegungsablauf, sodass festgehalten werden kann, dass es durch die Erweiterung der Gruppe zu keinen Veränderungen der Verhältnisse in den Ergebnissen kam.

### **3.1.2. Quantitative Beschreibung der transversalen Rückenbewegung**

Der Bewegungsumfang im Schritt nahm von kranial kommend bis zum Marker WS zu, fiel dann bis zum Marker Sacrum ab, um dann im Bereich des Markers SWS1 wieder einen Anstieg zu verzeichnen. Dieser Bewegungsablauf deckte sich mit den Ergebnissen der Studie von Layer (2012), auch Gradner et al. (2007) und Townsend et al. (1983) beschrieben bei Malinois und Pferden die größte Seitwärtsbewegung auf Höhe des thorakolumbalen Übergangs. Die mittlere Wirbelsäule ist weit von den Gliedmaßen entfernt und kann so frei schwingen. Auch die axiale Muskulatur ist dazu geeignet, Seitwärtsbewegungen zu produzieren (Schilling und Carrier 2010). Der ROM der gesunden Dackel bewegte sich in der vorliegenden Studie im Schritt zwischen 18,6 mm am Marker

Sacrum und 43,0 mm am Marker WS und entsprach damit nahezu den Werten von Layer (2012) (ROM Marker Sacrum 17,5 mm und Marker WS 42,6 mm). Gradner et al. (2007) erhielten im Bereich des thorakolumbalen Überganges Werte von 56–62 mm. Die im Vergleich zu den in der vorliegenden Studie untersuchten Dackel deutlich höheren Werte lassen sich hierbei durch die Unterschiede in der Körpergröße erklären.

Im Trab fällt im Vergleich zum Schritt im Bereich der kranialen Wirbelsäule ein signifikant erniedrigter ROM, im Bereich der kaudalen Wirbelsäule ein vergrößerter ROM auf. Mehrere Studien konnten bereits eine verminderte Seitwärtsbewegung des Rückens verschiedener Tiere in schnelleren Gangarten feststellen (Faber et al. 2001, Robert et al. 2001, Schilling und Carrier 2010, Layer 2012). Schilling et al. (2010) konnten bei Hunden eine erhöhte Muskelaktivität im Bereich der Wirbelsäule feststellen, die zu einem Feststellen der Wirbelsäule führte und auch Faber (2001) hielt ein Feststellen der Wirbelsäule fest, um eine zu starke Seitwärtsverlagerung des Körperschwerpunktes zu vermeiden. Layer (2012) zeigte in ihrer Studie, dass der Dackel im Schritt nahezu den gleichen Bewegungsumfang wie der Labrador Retriever aufweist und somit im Hinblick auf die Körpergröße einen deutlich größeren Bewegungsumfang zeigt. Daher scheint bei dieser Rasse im Trab ein aktives muskuläres Feststellen der Wirbelsäule stattzufinden. In der Gruppe der kranken Tiere zeigten sich ähnliche Verhältnisse im Gangartenvergleich.

Im Gruppenvergleich wies Gruppe 2 für alle neun Wirbelsäulenmarker in beiden Gangarten den größeren Bewegungsumfang auf. Gradner et al. (2007) konnten in ihrer Studie im Vergleich von gesunden Malinois mit Malinois mit radiologischen Veränderungen im Bereich des lumbosakralen Übergangs einen erhöhten ROM in der Transversalebene im Bereich der Halswirbelsäule feststellen. Hill, Lubbe et al. (2000) untersuchten in ihrer biomechanischen Ex-vivo-Studie den Effekt einer Hemilaminektomie, Pedikulektomie oder Fenestration auf die Stabilität der Lendenwirbelsäule von Hunden. Sie konnten hierbei feststellen, dass die Stabilität der Lendenwirbelsäule nach operativen Eingriffen reduziert war, je nach Operationsmethode jedoch unterschiedlich stark. Auch Smith und Walter (1988) führten Ex-vivo-Studien an der Lendenwirbelsäule von Hunden durch und zeigten auf, dass eine beidseitige Hemilaminektomie zu einem erhöhten ROM führt und die Widerstandsfähigkeit der Wirbelsäule um 56 % reduziert. Die Auswirkungen

auf die Stabilität waren noch stärker nach einer dorsalen Laminektomie. Auch wenn es sich bei den beiden genannten Studien um biomechanische Ex-vivo-Untersuchungen handelt und hierbei die stabilisierende Funktion der umgebenden Muskel- und Bandstrukturen nicht bewertet werden können, führen operative Eingriffe im Bereich der Wirbelsäule auch in vivo zu einem erhöhten ROM. In der zugänglichen Literatur gibt es aktuell nur eine weitere In-vivo-Studie, die sich mit der Rückenbewegung von Dackeln, welche an einer Stelle im Wirbelsäulenabschnitt dritter Brust- bis dritter Lendenwirbel hemilaminektomiert wurden, beschäftigt (Sutton et al. 2016). Sutton et al. (2016) verglichen in ihrer Studie sechs mittels Hemilaminektomie nach Bandscheibenvorfall operierte Dackel mit einer Kontrollgruppe von acht gesunden Dackeln. Die kinematische Auswertung beschränkte sich hierbei auf die Hintergliedmaßen (es wurden Marker auf den üblichen Knochenpunkten der Hintergliedmaßen angebracht), zusätzlich wurde ein virtueller „mid-ilial Marker“ gebildet, der in etwa mit dem Marker Sacrum unserer Studie vergleichbar ist. Die Untersuchung erfolgte nur im Trab. Die Ergebnisse zeigten eine signifikant vergrößerte transversale Rückenbewegung im Bereich des virtuellen Markers. Die Autoren führten den erhöhten ROM zum einen auf eine eingeschränkte Koordinationsfähigkeit der Beckenbewegung aufgrund der persistierenden neurologischen Defizite zurück, zum anderen sahen sie in dem erhöhten ROM eine Kompensation der verminderten Schubkraft in der Vorwärtsbewegung der Hintergliedmaßen, ähnlich den Patienten mit Hüftgelenkdysplasie. Die Auswirkung einer Hemilaminektomie auf die gesamte Rückenbewegung wurde in seiner Studie nicht untersucht. Es ist anzunehmen, dass durch das Entfernen der Facettengelenke und eines Teils des Wirbelbogens die Feinabstimmung der Bewegungsabläufe der Wirbelsäule nicht mehr gewährleistet werden kann, durch die vermehrte Instabilität die Wirbelsäule mehr schwingt und dadurch einen größeren ROM in der Transversalebene aufweist. Die größten Auswirkungen zeigen sich jedoch nicht im Bereich des thorakolumbalen Überganges, sondern im Bereich der kranialen und kaudalen Wirbelsäule. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass der thorakolumbale Übergang der gesunden Tiere physiologischerweise den größten ROM aufweist und das Potential der Beweglichkeit bereits nahezu ausgeschöpft ist, sodass sich bei einer Instabilität in diesem Bereich der erhöhte ROM über die axiale Muskulatur ausbreitet und sich in den Wirbelsäulenabschnitten weiter kranial bzw. kaudal am meisten niederschlägt.

Im Vergleich der drei Untergruppen von Gruppe 2 mit Gruppe 1 konnten in beiden Gangarten interessante Aspekte ausgemacht werden. Gruppe 2 a) ähnelte im Kurvenverlauf in beiden Gangarten stark der Gruppe 1. Der ROM war nur geringfügig erhöht, dies zeigte sich vor allem im Bereich der kaudalen Wirbelsäule. Die Veränderungen im Bewegungsumfang schlugen sich also kaudal der Hemilaminektomiestelle nieder. Als möglich Ursache könnte hier die stabilisierende Funktion des Brustkorbes durch den Rippenkäfig ebenso wie die Rigidität der Brustwirbelsäule in Betracht kommen, sodass die destabilisierende Wirkung der Hemilaminektomie sich erst weiter kaudal in der Wirbelsäule in einem Bereich höherer Mobilität niederschlagen konnte und dorthin übertragen wurde. Gruppe 2 b) zeigte im Schritt ebenfalls einen ähnlichen Kurvenverlauf wie die Gruppe 1, jedoch war über die gesamte Länge der Wirbelsäule der ROM stark vergrößert. Im Trab wich der Kurvenverlauf in der kaudalen Wirbelsäule leicht vom Kurvenverlauf der Gruppe 1 ab. Eine Hemilaminektomie im Bereich des thorakolumbalen Überganges schien sich also über die gesamte Länge der Wirbelsäule homogen in einem vergrößerten ROM niederzuschlagen und nicht zu einer Veränderung des Kurvenverlaufes zu führen. Ursächlich könnte der thorakolumbale Übergang als Schnittstelle zwischen rigider Brust- und mobiler Lendenwirbelsäule sein, dessen vermehrte Instabilität sich gleichmäßig von der Hemilaminektomiestelle über die Wirbelsäule hin ausbreitet. Gruppe 2 c) zeigte im Schritt einen deutlich abweichenden Kurvenverlauf von der Gruppe der gesunden Dackel, im Trab waren ebenfalls Abweichungen vom Kurvenverlauf zu erkennen. Im Schritt schien sich die Hemilaminektomie im Bereich der kranialen Lendenwirbelsäule in einem erhöhten Bewegungsumfang niederzuschlagen, im Bereich der kaudalen Lendenwirbelsäule nahm der Bewegungsumfang stark ab. Die Lendenwirbelsäule ist in sich verglichen mit der Brustwirbelsäule mobiler und geht dann in das rigide Kreuzbein über. Damit könnte erklärt werden, dass die noch stärker erhöhte Mobilität der Lendenwirbelsäule nach Hemilaminektomie nicht auf die rigide Region des Kreuzbeins übertragen werden konnte und es dadurch zu einer deutlichen Abnahme des Bewegungsumfanges in diesem Bereich kam. Im Trab schien die umgebende Muskulatur die Lendenwirbelsäule stabilisieren zu können, sodass hier der Bewegungsumfang gegenüber dem Schritt reduziert war. Allerdings schien sich diese lokale Versteifung in einem vermehrten Bewegungsumfang in der Brustwirbelsäule niederzuschlagen.

Zusammenfassend lässt sich aus diesen Ergebnissen schlussfolgern, dass eine Hemilaminektomie im Bereich des thorakolumbalen Überganges zu den größten Veränderungen hinsichtlich des ROM führt. Eine Hemilaminektomie im Bereich der Brustwirbelsäule scheint geringe Auswirkungen auf den Bewegungsumfang und den Kurvenverlauf zu haben, eine Hemilaminektomie im Bereich der Lendenwirbelsäule führt zu starken Veränderungen im Kurvenverlauf. Die geringen Gruppengrößen und die hohe Standardabweichung der untersuchten Parameter lassen jedoch auf eine hohe Varianz innerhalb der Patienten schließen. Zudem waren die Hemilaminektomien innerhalb der einzelnen Gruppen an unterschiedlichen Intervertebralspalten lokalisiert, sodass die Verifizierung der vorliegenden Ergebnisse weiteren Studien mit größeren Fallzahlen obliegt.

### **3.2. Sagittalebene**

#### **3.2.1. Qualitative Beschreibung der sagittalen Rückenbewegung**

Die Marker beschrieben in der Sagittalebene in beiden Gangarten in beiden Gruppen einen zweiphasigen Bewegungsablauf. Gleiches wurde in den Studien zu Malinois (Gradner et al. 2007), Dackeln und Labrador Retrievern (Layer 2012) und Pferden (Faber et al. 2001, Faber et al. 2000) beschrieben. Das Maximum eines Markers der kranialen Wirbelsäule wurde zu Beginn der Schwungphase der näher gelegenen Vordergliedmaße und der vollen Belastung der kontralateralen Gliedmaße erzielt. Das Maximum eines Markers der kaudalen Wirbelsäule wurde zu Beginn der Schwungphase der näher gelegenen Hintergliedmaße und der vollen Belastung der kontralateralen Gliedmaße erreicht. Das Minimum trat während des Wechsels der Standphase zwischen rechter und linker Gliedmaße auf. Im Schritt trat im Bereich der kaudalen Wirbelsäule das dorsale Maximum früher auf. Dies ist damit zu erklären, dass sich zu Beginn der Doppelstandphase das rechte Hinterbein in der maximalen Belastungsphase befindet, während sich zum Ende der Doppelstandphase das rechte Vorderbein in der maximalen Belastungsphase befindet. Es kommt also wie in der Transversalebene zu einer zeitlichen Verschiebung des Auftretens des ersten dorsalen Maximums, allerdings von kaudal nach kranial. Dies konnte ebenfalls in anderen Studien gezeigt werden (Faber et al. 2000, Gradner et al. 2007, Layer 2012). Im Trab kam es aus den bereits für die Transversalebene genannten Gründen zu keiner zeitlichen Verschiebung des Auftretens der Maxima.

### **3.2.2. Quantitative Beschreibung der sagittalen Rückenbewegung**

Der Bewegungsumfang im Schritt nahm in beiden Gruppen von kranial über die gesamte Länge der Wirbelsäule nahezu kontinuierlich zu. Gradner et al. (2007) konnten dies in ihrer Studie an Malinois ebenso aufzeigen wie Layer (2012) in ihren Untersuchungen zu Dackeln und Labrador Retrievern und Licka et al. (2001) in einer Studie zum Pferd. Gradner et al. (2007) begründen dies durch die vertikal platzierten Facettengelenke zwischen L7 und S1 sowie mit der Tatsache, dass die Hintergliedmaße straff mit dem Becken verbunden ist, welches wiederum straff mit dem Sakrum verbunden ist und es so zu einer guten Vorwärts- und Aufwärtsbewegung in diesem Bereich kommt. Im Trab nahm der Bewegungsumfang bis in die kraniale Lendenwirbelsäule zu, um dann in der kaudalen Wirbelsäule wieder abzunehmen. Insgesamt zeigte die Wirbelsäule in der Sagittalebene im Trab im Vergleich zum Schritt einen signifikant vergrößerten Bewegungsumfang. Layer (2012) begründete den erhöhten Bewegungsumfang im Trab mit der Tatsache, dass die Wirbelsäule in der Mitte schwingt, da hier die Trägheit des axialen Schwerpunktes wirkt.

Im Gruppenvergleich der eigenen Studie wies die Gruppe 2 ebenso wie in der Transversalebene für alle neun Wirbelsäulenmarker in beiden Gangarten den größeren Bewegungsumfang auf. Sutton et al. (2016) konnten in ihrer Studie im Bereich des Sakrums ebenfalls einen signifikant vergrößerten ROM in der Sagittalebene feststellen. Die Ursachen hierfür sind ähnlich wie für die Transversalebene in der reduzierten Koordinationsfähigkeit und der Kompensation der verminderten Schubkraft des Beckens zu suchen. Elektromyographische Studien an Hunden und Pferden zeigten, dass die Muskulatur im Trab eine stabilisierende Funktion hat und die Flexions- und Extensionsbewegungen limitiert (Robert et al. 2001, Schilling und Carrier 2009). Dies könnte eine mögliche Begründung dafür sein, dass die Gruppe 2 einen erhöhten Bewegungsumfang in der Sagittalebene aufwies, da die stabilisierende Funktion der Muskulatur nicht mehr gewährleistet war. Dies zeigte sich auch in einem gewissen Maße in der Transversalebene. Betrachtet man die Veränderungen über die gesamte Länge der Wirbelsäule, so zeigten sich in der Sagittalebene die größten Veränderungen im Schritt im Bereich der kranialen Wirbelsäule bis hin zum thorakolumbalen Übergang. Im Trab waren die größten Veränderungen im Bereich der kaudalen Wirbelsäule zu verzeichnen. Auch hier



könnte angenommen werden, dass in den Bereichen der Wirbelsäule, die bei den gesunden Tieren den größten ROM aufweisen, die Veränderungen der kranken Tiere nur gering ausfallen, und sich diese auf andere Wirbelsäulenabschnitte verlagern – sprich: Im Schritt nimmt die Beweglichkeit nach kaudal kontinuierlich zu, sodass sich die größten Veränderungen der kranken Tiere im Bereich der kranialen Wirbelsäule niederschlagen. Im Trab ist die Beweglichkeit im Bereich des thorakolumbalen Übergangs am größten, sodass sich die Veränderungen der kranken Tiere vor allem im Bereich der kaudalen Wirbelsäule niederschlagen.

Im Vergleich der drei Untergruppen mit der gesunden Gruppe lassen sich auch in der Sagittalebene interessante Aspekte festhalten. Gruppe 2 a) wich im Schritt deutlich vom normalen Kurvenverlauf ab und zeigte im Bereich der Brustwirbelsäule einen erhöhten ROM. Die Entfernung der Facettengelenke schien sich also in der Sagittalebene in der Brustwirbelsäule in einer vermehrten Instabilität und daraus resultierenden vermehrten Beweglichkeit niederzuschlagen. Im Trab hingegen war der Kurvenverlauf stark an die Gruppe 1 angelehnt. Der physiologisch größere ROM im Trab verglichen mit dem Schritt schien zu bedingen, dass die vermehrte Beweglichkeit im Bereich der Hemilaminektomie-Stelle weniger zum Tragen kommt. Gruppe 2 b) verhielt sich in der Sagittalebene im Schritt ähnlich wie in der Transversalebene und wies einen ähnlichen Kurvenverlauf bei deutlich vergrößerter ROM auf. Im Trab ließ sich nahezu der gleiche Kurvenverlauf wie im Schritt feststellen, der ROM am thorakolumbalen Übergang war verglichen mit der gesunden Gruppe nahezu gleich. Der thorakolumbale Übergang schien in Gruppe 2 b) also bereits im Schritt das Maximum seiner Beweglichkeit ausgeschöpft zu haben, sodass es im Trab zu keiner weiteren Steigerung gegenüber der gesunden Gruppe mehr kommen konnte. Die Wirbelsäule schien darüber hinaus die Veränderungen in der Stabilität am thorakolumbalen Übergang im Trab sowohl in der Transversal- als auch in der Sagittalebene schlechter als eine Instabilität in anderen Wirbelsäulenabschnitten kompensieren zu können, weshalb sich eventuell kompensatorisch der Kurvenverlauf im Vergleich zu Gruppe 1 stark veränderte. Gruppe 2 c) zeigte im Schritt ähnlich wie in der Transversalebene einen verminderten Bewegungsumfang im Bereich der kaudalen Lendenwirbelsäule sowie einen vergrößerten Bewegungsumfang im Bereich der Brustwirbelsäule. Die Muskulatur der Lendenwirbelsäule schien also in der Sagittalebene in der Lage zu

sein, eine lokale Stabilisierung der Hemilaminektomie-Stelle zu bewirken, wobei sicherlich auch hier die rigide Kreuzbeinregion diesen Effekt noch verstärkt. Die vermehrte Beweglichkeit übertrug sich auf weiter kranial gelegene Bereich der Wirbelsäule. Im Trab ähnelte der Kurvenverlauf der Gruppe 1, es kam zu einem homogen vergrößerten ROM über die gesamte Länge der Wirbelsäule. Hier schien also keine lokale Stabilisierung stattzufinden, der Effekt der Instabilität schien aufgrund der mobilen Lendenwirbelsäule so groß zu sein, dass er sich gleichmäßig über die gesamte Länge der Wirbelsäule ausbreiten konnte.

## **VI. ZUSAMMENFASSUNG**

Diese prospektive Studie hatte zum Ziel, kinetische und kinematische Parameter der Rückenbewegung von gesunden chondrodystrophen Hunden ( $n = 21$  Dackel) zu erheben und diese mit einer Gruppe von chondrodystrophen Hunden ( $n = 19$  Hunde, davon 16 Dackel, 1 Jack Russel Terrier, 1 Havaneser, 1 Beagle), die an einem Bandscheibenvorfall erkrankt waren und mittels Hemilaminektomie operativ versorgt wurden zu vergleichen. Es sollte ermittelt werden, inwiefern der operative Eingriff die Bewegung des Rückens beeinflusst und eine Verlagerung der Belastung der Gliedmaßen bedingt.

Die Analyse der kinetischen Parameter (nur für die Gangart Trab erhoben) zeigte im Gruppenvergleich eine vermehrte Verlagerung des prozentualen Körpergewichts auf die Vordergliedmaßen in der Gruppe der kranken Tiere. Zusätzlich konnte eine verminderte PVF der betroffenen Hintergliedmaße (Körperseite der Hemilaminektomie) festgehalten werden.

Hinsichtlich der qualitativen Bewegung (Form der Bewegung) des Rückens konnte in der Transversalebene in beiden Gangarten eine mono- und trizyklische Rückenbewegung festgestellt werden, in der Sagittalebene war die Rückenbewegung im Schritt und im Trab stets bizyklisch. Diese Bewegungsformen konnten bei beiden Gruppen festgestellt werden. Der Wechsel von einer monozyklischen Bewegung im Bereich der kranialen Wirbelsäule zu einer trizyklischen Bewegung im Bereich der kaudalen Wirbelsäule trat allerdings in Gruppe 1 deutlich häufiger auf. Im Schritt erfuhr das Auftreten der Minima und Maxima in der Transversalebene eine zeitliche Verlagerung von kranial nach kaudal, in der Sagittalebene hingegen erfolgte die Verlagerung von kaudal nach kranial. Im Trab fand aufgrund der Synchronität der Bewegung (Zweitakt-Gangart) keine zeitliche Verlagerung der Minima und Maxima statt.

Hinsichtlich der Quantität der Bewegung (Ausmaß der Bewegung) zeigten beide Gruppen in der Transversalebene den größten Bewegungsumfang im Bereich des thorakolumbalen Übergangs. Im Gangartenvergleich konnte ein deutlich verminderter Bewegungsumfang der gesamten Wirbelsäule im Trab festgestellt werden. In der Sagittalebene nahm der Bewegungsumfang in beiden Gruppen bis zum Sakrum kontinuierlich zu. Im Trab zeigten beide Gruppen einen vergrößerten

### Bewegungsumfang im Vergleich zum Schritt.

Im quantitativen Gruppenvergleich konnte sowohl in der Transversal-, als auch in der Sagittalebene in beiden Gangarten in Gruppe 2 ein deutlich erhöhter Bewegungsumfang festgestellt werden. Im Bereich LWScaud und Sacrum waren die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in der Transversalebene am größten. In der Sagittalebene hingegen zeigten sich im Schritt die größten Unterschiede im Bereich von BWScr und BWSmed, im Trab war im Bereich Sacrum prozentual die größte Differenz erkennbar.

Klinische Relevanz: Kinematische Daten gesunder Hunde können mit denen von im Bereich der Wirbelsäule erkrankten Hunden verglichen werden und Veränderungen in der Bewegung, die zum Beispiel durch operative Eingriffe entstehen, können festgestellt und ausgewertet werden. Inwieweit die hier erhobenen Werte auf andere Vertreter chondrodystropher Rassen oder auch nichtchondrodystropher Rassen übertragen werden können, bleibt weiterführenden Studien überlassen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Wirbelsäule chondrodystropher Hunde nach Hemilaminektomie einen deutlich vergrößerten Bewegungsumfang aufweist und somit die durch die Operation entstandene Instabilität nur bedingt kompensieren kann. Trotz adspektorisch lahmheitsfreiem Gangbild zeigen die Hunden eine verminderte Gewichtsaufnahme auf der Hintergliedmaße der Seite der Hemilaminektomie.

## VII. SUMMARY

The aim of this prospective study was to collect kinetic and kinematic data about the back movement of healthy adult dachshunds ( $n = 21$ ) and to compare it with those of dachshunds, who have had a hemilaminectomy after suffering from an acute disc herniation in the thoracic or lumbar region ( $n = 19$ ).

The analysis of the kinetic data showed an increased weight distribution to the frontlimb in the group of the operated dachshunds. They also showed a decreased PVF of the affected hindlimb.

In the transversal plain we found a mono- and tricyclic movement of the back in both groups, although the operated dachshunds showed a lot more monocyclic movement. In the sagittal plain we reported a bicyclic movement. The time of occurrence of the maximum marker positions travelled from cranial to caudal in the transversal plain and from caudal to cranial in the sagittal plain. This was only noted for the walking gait, for the trot there was no difference in the time of occurrence of the maximal marker positions.

Regarding the quantity of the movement both groups showed their maximal movement of the back in the transversal plain at the thoracolumbar junction. They also showed far less movement in the trot. In the sagittal plain the maximal movement continually increased from the cranial to the caudal spine in both groups and the ROM in the trot was higher than for the walking gait.

Remarkable was the significant higher ROM of the group of operated dachshunds in both plains in both the walking gait and the trot.

Clinical relevance: kinematic data of healthy dogs can be compared with those of dogs that have conditions like disc herniation in the region of the thoracic and lumbar spine. Kinetic data gives us an indication of persistent lameness in the affected hindlimb were there was no clinical lameness obvious. Further studies will show how far our results can be used for other chondro- or nonchondrodystrophic breeds.

## VIII. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Schematische Darstellung des 11. Brustwirbels (T11) und des 5. Lendenwirbels (L5); aus Tobias (2012).	2
Abb. 2: Schematische Darstellung der Bandstrukturen der Wirbelsäule; aus König und Liebich (2014).	5
Abb. 3: Schematische Darstellung der Bandscheibe und der umgebenden Bandstrukturen; aus Tobias (2012).	6
Abb. 4: Verteilung der Kräfte innerhalb der Bandscheibe bei Druckeinwirkung; aus Bray (1998).	8
Abb. 5: Schematische Darstellung eines Bandscheibenvorfalles Hansen Typ I (links) und Hansen Typ II (rechts); aus Fossum (2009).	9
Abb. 6: Operationsmöglichkeiten bei der Therapie von Bandscheibenvorfällen: a) Dorsale Laminektomie Funkquist A b) Dorsale Laminektomie Funkquist B c) Tiefe dorsale Laminektomie d) Modifizierte dorsale Laminektomie e) Linksseitige Hemilaminektomie f) Minihemilaminektomie g) Laterale Corpektomie; Grafiken aus Tobias (2012) und Fossum (2009).	15
Abb. 7: Laterale Fenestration einer Bandscheibe, Entfernung des Nucleus pulposus; aus Tobias (2012).	16
Abb. 8: Ablauf eines gewöhnlichen Schrittes des Hundes; nach Seiferle und Frewein (2004).	19
Abb. 9: schematische Darstellung der Bodenreaktionskräfte: +x mediolaterale Kraft, +y kraniokaudale Kraft, +z vertikale Bodenreaktionskraft.	19
Abb. 10: Erhebung der kinetischen Daten: a) Führung über am Boden liegende Kraftmessplatten; Grafik aus Gillette and Angel 2008 b) Führung auf einem Laufband.	21
Abb. 11: Ganganalyselabor der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München.	27
Abb. 12: Positionierung der Wirbelsäulenmarker sowie des Pfotenmarkers (hier symbolisch an der linken Vorderpfote dargestellt) an palpierbaren Knochenpunkten des Skeletts; Schema des Hundeskeletts von Matthias Haab (2009).	28
Abb. 13: Dackel auf dem Laufband während eines Untersuchungsganges mit aufgebrachten Markern.	30

Abb. 14: Rekonstruiertes Markermodell mit Benennung der einzelnen Wirbelsäulenmarker. ....	30
Abb. 15: Geschlechterverteilung der Probanden. ....	36
Abb. 16: Mittlere Bewegung des Markers BWScr eines Hundes während eines Schrittzyklus in der Transversalebene. ....	48
Abb. 17: Mittlere Bewegung des Sacrum-Markers desselben Hundes wie in Abb. 16 während eines Schrittzyklus in der Transversalebene, Umkehr der Maxima..	49
Abb. 18a-i): Mittlere Bewegung der Wirbelsäulenmarker BWScr–SWS1 eines Hundes mit einphasigem Bewegungsablauf. Gekennzeichnet ist die Verlagerung des rechten Maximums im Verlauf der Wirbelsäule nach hinten. SWS1 zeigt eine inverse Bewegung. ....	53
Abb. 19a-i): Mittlere Bewegung der neun Wirbelsäulenmarker eines Hundes innerhalb eines Schrittzyklus. Eingezeichnet ist das Auftreten der maximalen rechten Position und deren Verlagerung nach hinten. ....	56
Abb. 20: Zeitpunkt des Auftretens der Dreiphasigkeit an den Markern LWScr-SWS1 bei Gruppe 1 und 2 im Schritt.....	57
Abb. 21a-i): Vergleich der Mittelwerte beider Gruppen innerhalb eines Schrittzyklus für die neun Wirbelsäulenmarker im Schritt.....	61
Abb. 22: Zeitpunkt des Auftretens der Dreiphasigkeit an den Markern LWScr-SWS1 Gruppe 1 und 2 im Trab.....	62
Abb. 23: Mittlerer Bewegungsumfang der Gruppe 1 in der Transversalebene nach rechts und nach links im Gangartenvergleich. ....	67
Abb. 24: Mittlerer Bewegungsumfang der kranken Dackel in der Transversalebene nach rechts und nach links im Gangartenvergleich.....	71
Abb. 25: Vergleich der mittleren Rückenbewegung in der Transversalebene der neun Wirbelsäulenmarker im Schritt. ....	76
Abb. 26: Vergleich des ROM der drei Untergruppen mit Gruppe 1 in der Transversalebene für die neun Wirbelsäulenmarker im Schritt. ....	77
Abb. 27: Vergleich der mittleren Rückenbewegung in der Transversalebene der neun Wirbelsäulenmarker beider Gruppen im Trab.....	81
Abb. 28: Vergleich des ROM der drei Untergruppen mit der Gruppe 1 in der Transversalebene für die neun Wirbelsäulenmarker im Trab. ....	82
Abb. 29: Mittlere Bewegung des Markers BWScr eines Hundes in der Sagittalebene. Eingezeichnet ist das Auftreten der ersten maximalen dorsalen Markerposition. ....	83

Abb. 30: Mittlere Bewegung des Markers Sacrum eines Hundes in der Sagittalebene. Eingezeichnet ist das Auftreten der ersten maximalen dorsalen Markerposition. ....	84
Abb. 31a-i): Mittlere Bewegung der Wirbelsäulenmarker BWScr–SWS1 eines Hundes in der Sagittalebene, zweiphasiger Bewegungsablauf. Gekennzeichnet ist die Verlagerung des ersten dorsalen Maximums im Verlauf der Wirbelsäule nach vorne.....	88
Abb. 32: Mittlerer Bewegungsumfang in der Sagittalebene der Gruppe 1 im Gangartenvergleich. ....	93
Abb. 33: Mittlerer Bewegungsumfang in der Sagittalebene der Gruppe 2 im Gangartenvergleich. ....	97
Abb. 34: Mittlerer Bewegungsumfang in der Sagittalebene beider Gruppen im Schritt. ....	101
Abb. 35: Vergleich des ROM der drei Untergruppen mit Gruppe 1 (gesund) in der Sagittalebene für die neun Wirbelsäulenmarker im Schritt. ....	102
Abb. 36: Mittlerer Bewegungsumfang in der Sagittalebene beider Gruppen im Trab. ....	106
Abb. 37: Vergleich des ROM der drei Untergruppen mit Gruppe 1 (gesund) in der Sagittalebene für die neun Wirbelsäulenmarker im Trab. ....	106



## IX. TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Muskelsysteme der Wirbelsäule; aus König und Liebich (2014).....	4
Tab. 2: Positionierung und Benennung der Marker. ....	29
Tab. 3: Radiologische Befunde der Probanden mit radiologischen Auffälligkeiten. .....	34
Tab. 4: Grunddaten der Probanden. ....	35
Tab. 5: Mittlere Standphasendauer der einzelnen Gliedmaßen für beide Gruppen. .....	37
Tab. 6: Mittlere Standphasendauer der Vorder- und Hintergliedmaßen im Gruppenvergleich. ....	38
Tab. 7: Verhältnis der mittleren Standphasendauer zwischen Vorder- und Hintergliedmaße im Gruppenvergleich. ....	39
Tab. 8: Mittlere Standphasendauer der betroffenen und kontralateralen Hintergliedmaße der kranken Dackel im Vergleich.....	40
Tab. 9: Vergleich der vertikalen Spitzenkraft aller Gliedmaßen für beide Gruppen. .....	41
Tab. 10: Vergleich des Impulses der vertikalen Bodenreaktionskraft aller Gliedmaßen für beide Gruppen. ....	42
Tab. 11: Vergleich der vertikalen Spitzenkraft bzw. des vertikalen Impulses der Vorder- und Hintergliedmaßen zwischen beiden Gruppen.....	44
Tab. 12: PVF und VI der betroffenen und kontralateralen Hintergliedmaße der kranken Dackel im Vergleich. ....	45
Tab. 13: Prozentuale Gewichtsverteilung der PVF und des VI zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen im Gruppenvergleich. ....	46
Tab. 14: Symmetrie-Indices der beiden Gruppen für die Parameter vertikale Spitzenkraft und vertikaler Impuls der Vorder- und Hintergliedmaßen. ....	47
Tab. 15: Zeitliches Auftreten der Extrema bei einem dreiphasigen Bewegungsablauf im Schritt. ....	57
Tab. 16: Zeitliches Auftreten der Extrema bei einem dreiphasigen Bewegungsablauf im Trab. ....	62
Tab. 17: Vergleich der einphasigen und dreiphasigen Rückenbewegung zwischen beiden Gruppen und Gangarten. ....	63
Tab. 18: Mittlere maximale Markerbewegung von Gruppe 1 in der	

Transversalebene im Schritt und im Trab. ....	64
Tab. 19: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Transversalebene der Gruppe 1 im Schritt und im Trab. ....	66
Tab. 20: Mittlere maximale Markerbewegung von Gruppe 2 in der Transversalebene im Schritt und im Trab. ....	68
Tab. 21: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Transversalebene der Gruppe 2 im Schritt und im Trab. ....	70
Tab. 22: Mittlere Markerbewegung beider Gruppen in der Transversalebene im Schritt (in % der Rückenlänge). ....	73
Tab. 23: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Transversalebene beider Gruppen im Schritt (in % der Rückenlänge). ....	75
Tab. 24: Mittlere Markerbewegung beider Gruppen in der Transversalebene im Trab (% der Rückenlänge). ....	78
Tab. 25: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Transversalebene beider Gruppen im Trab (% der Rückenlänge). ....	80
Tab. 26: Zeitliches Auftreten der Extrema bei einem zweiphasigen Bewegungsablauf im Schritt. ....	84
Tab. 27: Zeitliches Auftreten der Extreme bei einem zweiphasigen Bewegungsablauf im Trab. ....	89
Tab. 28: Mittlere maximale Markerbewegung von Gruppe 1 in der Sagittalebene im Schritt und im Trab. ....	90
Tab. 29: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Sagittalebene der Gruppe 1 im Schritt und im Trab. ....	92
Tab. 30: Mittlere maximale Markerbewegung von Gruppe 2 in der Sagittalebene im Schritt und im Trab. ....	94
Tab. 31: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Sagittalebene der Gruppe 2 im Schritt und im Trab. ....	96
Tab. 32: Mittlere Markerbewegung beider Gruppen in der Sagittalebene im Schritt. ....	98
Tab. 33: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Sagittalebene beider Gruppen im Schritt. ....	100
Tab. 34: Mittlere Markerbewegung beider Gruppen in der Sagittalebene im Trab. ....	103
Tab. 35: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Sagittalebene beider Gruppen im Trab. ....	105

Tab. 36: Einzelgrunddaten aller Probanden. ....	149
Tab. 37: Operationsdaten Gruppe 2 (alle mittels Hemilaminektomie versorgt). ....	151
Tab. 38: Kinetische Grunddaten aller Probanden, die im Trab untersucht wurden (Angabe der Mittelwerte der Vorder- bzw. Hintergliedmaßen): SD, PVF, VI... ..	152
Tab. 39: Kinetische Grunddaten aller Probanden, die im Trab untersucht wurden (Angabe der Mittelwerte der Vorder- bzw. Hintergliedmaßen): prozentuale Gewichtsverteilung (FD), SI PVF, SI VI; gelb markiert sind die Hunde, die eine Lahmheit zeigten. ....	154
Tab. 40: Kinetische Grunddaten aller Probanden, die nur im Schritt auf dem Laufband gingen (Angabe der Mittelwerte der Vorder- bzw. Hintergliedmaßen). .....	156
Tab. 41: Berechnung von Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum der kinetischen Parameter unter Ausschluss der drei lahmen Patienten im Trab. ....	157
Tab. 42: Kinetische Parameter Unterteilung Gruppe 2 in betroffene und kontralaterale Gliedmaße. ....	158
Tab. 43: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Transversalebene der neun Wirbelsäulenmarker Gruppe 2 a) im Schritt und Trab in % der Rückenlänge... ..	159
Tab. 44: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Transversalebene der neun Wirbelsäulenmarker Gruppe 2 b) im Schritt und Trab in % der Rückenlänge... ..	160
Tab. 45: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Transversalebene der neun Wirbelsäulenmarker Gruppe 2 c) im Schritt und Trab in % der Rückenlänge... ..	161
Tab. 46: Mittlerer Bewegungsumfang in der Sagittalebene der neun Wirbelsäulenmarker Gruppe 2 a) im Schritt und Trab in % der Rückenlänge... ..	162
Tab. 47: Mittlerer Bewegungsumfang in der Sagittalebene der neun Wirbelsäulenmarker Gruppe 2 b) im Schritt und Trab in % der Rückenlänge... ..	163
Tab. 48: Mittlerer Bewegungsumfang in der Sagittalebene der neun Wirbelsäulenmarker Gruppe 2 c) im Schritt und Trab in % der Rückenlänge... ..	164

## **X. LITERATURVERZEICHNIS**

Abdelhadi, J., Wefstaedt, P., Galindo-Zamora, V., Anders, A., Nolte, I. und Schilling, N. (2013): Load redistribution in walking and trotting Beagles with induced forelimb lameness. *Am J Vet Res*, 74, S. 34-9.

Aikawa, T., Fujita, H., Shibata, M. und Takahashi, T. (2012): Recurrent thoracolumbar intervertebral disc extrusion after hemilaminectomy and concomitant prophylactic fenestration in 662 chondrodystrophic dogs. *Vet Surg*, 41, S. 381-90.

Arthurs, G. (2011a): Orthopaedic examination of the dog. *In Practice*, 33, S. 126-133.

Arthurs, G. (2011b): Orthopaedic examination of the dog. *In Practice*, 33, S. 172-179.

Ball, M. U., McGuire, J. A., Swaim, S. F. und Hoerlein, B. F. (1982): Patterns of occurrence of disk disease among registered dachshunds. *J Am Vet Med Assoc*, 180, S. 519-22.

Bartels, K. E., Creed, J. E. und Yturraspe, D. J. (1983): Complications associated with the dorsolateral muscle-separating approach for thoracolumbar disk fenestration in the dog. *J Am Vet Med Assoc*, 183, S. 1081-1083.

Bell, C. (1931): Observations on injuries of the spine and of the thigh bone. London: Thomas Tegg, S. 3-56.

Bennett, R. L., DeCamp, C. E., Flo, G. L., Hauptman, J. G. und Stajich, M. (1996): Kinematic gait analysis in dogs with hip dysplasia. *Am J Vet Res*, 57, S. 966-71.

Berger, B., Knebel, J., Steigmeier-Raith, S., Reese, S. und Meyer-Lindenberg, A.

(2015): Long-term outcome after surgical treatment of cranial cruciate ligament rupture in small breed dogs. Comparison of tibial plateau leveling osteotomy and extra-articular stifle stabilization. Tierarztl Prax Ausg K Kleintiere Heimtiere, 43, S. 373-80.

Bergknut, N.,Meij, B. P.,Hagman, R.,de Nies, K. S.,Rutges, J. P.,Smolders, L. A.,Creemers, L. B.,Lagerstedt, A. S.,Hazewinkel, H. A. und Grinwis, G. C. (2013): Intervertebral disc disease in dogs - part 1: a new histological grading scheme for classification of intervertebral disc degeneration in dogs. Vet J, 195, S. 156-63.

Bergknut, N.,Rutges, J. P.,Kranenburg, H. J.,Smolders, L. A.,Hagman, R.,Smidt, H. J.,Lagerstedt, A. S.,Penning, L. C.,Voorhout, G.,Hazewinkel, H. A.,Grinwis, G. C.,Creemers, L. B.,Meij, B. P. und Dhert, W. J. (2012): The dog as an animal model for intervertebral disc degeneration? Spine (Phila Pa 1976), 37, S. 351-8.

Bertram, J. E.,Lee, D. V.,Case, H. N. und Todhunter, R. J. (2000): Comparison of the trotting gaits of Labrador Retrievers and Greyhounds. Am J Vet Res, 61, S. 832-8.

Besancon, M. F.,Conzemius, M. G.,Evans, R. B. und Ritter, M. J. (2004): Distribution of vertical forces in the pads of Greyhounds and Labrador Retrievers during walking. Am J Vet Res, 65, S. 1497-501.

Bitetto, W. V. und Brown, N. O. (1989): Selection of the appropriate surgical approach for intervertebral disc disease. Probl Vet Med, 1, S. 415-33.

Braund, K. G.,Ghosh, P.,Taylor, T. K. und Larsen, L. H. (1975): Morphological studies of the canine intervertebral disc. The assignment of the beagle to the achondroplastic classification. Res Vet Sci, 19, S. 167-72.

Braund, K. G.,Taylor, T. K.,Ghosh, P. und Sherwood, A. A. (1976): Lateral spinal decompression in the dog. J Small Anim Pract, 17, S. 583-92.

Bray, J. P. und Burbidge, H. M. (1998): The canine intervertebral disk. Part Two: Degenerative changes--nonchondrodystrophoid versus chondrodystrophoid disks. J Am Anim Hosp Assoc, 34, S. 135-44.

Bray, J. P.; Burbidge, H. M. (1998): The canine intervertebral disk: part one: structure and function. J Am Anim Hosp Assoc, 34, S. 55-63.

Breit, S. und Kunzel, W. (2001): The position and shape of osteophyte formations at canine vertebral endplates and its influence on radiographic diagnosis. Anat Histol Embryol, 30, S. 179-84.

Brisson, B. A., Holmberg, D. L., Parent, J., Sears, W. C. und Wick, S. E. (2011): Comparison of the effect of single-site and multiple-site disk fenestration on the rate of recurrence of thoracolumbar intervertebral disk herniation in dogs. J Am Vet Med Assoc, 238, S. 1593-600.

Brisson, B. A., Moffatt, S. L., Swayne, S. L. und Parent, J. M. (2004): Recurrence of thoracolumbar intervertebral disk extrusion in chondrodystrophic dogs after surgical decompression with or without prophylactic fenestration: 265 cases (1995-1999). J Am Vet Med Assoc, 224, S. 1808-14.

Brown, N.O., Helphrey, M.L. und Prata, R. G. (1977): Thoracolumbar disc disease in the dog: a retrospective analysis of 187 cases. J Am Anim Hosp Assoc, 13, S. 665-72.

Budsberg, S. C., Jevens, D. J., Brown, J., Foutz, T. L., DeCamp, C. E. und Reece, L. (1993): Evaluation of limb symmetry indices, using ground reaction forces in healthy dogs. Am J Vet Res, 54, S. 1569-74.

Budsberg, S. C., Verstraete, M. C. und Soutas-Little, R. W. (1987): Force plate analysis of the walking gait in healthy dogs. Am J Vet Res, 48, S. 915-8.

Burger, R. und Lang, J. (1992): [Kinetic study of the lumbar vertebrae and the

lumbosacral passage in German shepherd dogs. 1. Functional anatomy and kinetic foundation]. Schweiz Arch Tierheilkd, 134, S. 411-6.

Burger, R. und Lang, J. (1993): [Kinetic studies of the lumbar vertebrae and the lumbosacral transition in the German shepherd dog. 2. Our personal investigations]. Schweiz Arch Tierheilkd, 135, S. 35-43.

Burk, R. L. (1989): Problems in the radiographic interpretation of intervertebral disc disease in the dog. Probl Vet Med, 1, S. 381-401.

Burton, N. J., Owen, M. R., Kirk, L. S., Toscano, M. J. und Colborne, G. R. (2011): Conservative versus arthroscopic management for medial coronoid process disease in dogs: a prospective gait evaluation. Vet Surg, 40, S. 972-80.

Caron, A., Caley, A., Farrell, M. und Fitzpatrick, N. (2014): Kinematic gait analysis of the canine thoracic limb using a six degrees of freedom marker set. Study in normal Labrador Retrievers and Labrador Retrievers with medial coronoid process disease. Vet Comp Orthop Traumatol, 27, S. 461-9.

Chou, R., Baisden, J., Carragee, E. J., Resnick, D. K., Shaffer, W. O. und Loeser, J. D. (2009): Surgery for low back pain: a review of the evidence for an American Pain Society Clinical Practice Guideline. Spine (Phila Pa 1976), 34, S. 1094-109.

Coates, JR. (2000): Intervertebral disc disease. Vet Clin North Am Small Anim Pract, 30, S. 77-110.

Crock, H. V. und Goldwasser, M. (1984): Anatomic studies of the circulation in the region of the vertebral end-plate in adult Greyhound dogs. Spine (Phila Pa 1976), 9, S. 702-6.

Dalin, G., Drevemo, S., Fredricson, I., Jonsson, K. und Nilsson, G. (1973): Ergonomic aspects of locomotor asymmetry in standardbred horses trotting through turns. An investigation with special reference to the fetlock joint, using

high-speed cinematography and thermography. *Acta Vet Scand Suppl*, 44, S. 111-39.

DeCamp, C. E. (1997): Kinetic and kinematic gait analysis and the assessment of lameness in the dog. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*, 27, S. 825-40.

DeCamp, C. E., Riggs, C. M., Olivier, N. B., Hauptman, J. G., Hottinger, H. A. und Soutas-Little, R. W. (1996): Kinematic evaluation of gait in dogs with cranial cruciate ligament rupture. *Am J Vet Res*, 57, S. 120-6.

DeCamp, C. E., Soutas-Little, R. W., Hauptman, J., Olivier, B., Braden, T. und Walton, A. (1993): Kinematic gait analysis of the trot in healthy greyhounds. *Am J Vet Res*, 54, S. 627-34.

Denny, H. R. (1978): The lateral fenestration of canine thoracolumbar disc protrusions: a review of 30 cases. *J Small Anim Pract*, 19, S. 259-66.

Dhupa S, Glickman N, Waters DJ. (1999): Reoperative neurosurgery in dogs with thoracolumbar disc disease. *Vet Surg*, 28, S. 421-8.

Ernst, T. (2012): Karpal- und Tarsalgelenksarthrodese bei Hund und Katze - Behandlungen und Ergebnisse in den Jahren 1996 bis 2010. Dissertation LMU München.

Evans, H.E. und De Lahunta, A. (2012): *Miller's Anatomy of the Dog*. Elsevier.

Faber, M., Johnston, C., Schamhardt, H., van Weeren, R., Roepstorff, L. und Barneveld, A. (2001): Basic three-dimensional kinematics of the vertebral column of horses trotting on a treadmill. *Am J Vet Res*, 62, S. 757-64.

Faber, M., Schamhardt, H., van Weeren, R., Johnston, C., Roepstorff, L. und Barneveld, A. (2000): Basic three-dimensional kinematics of the vertebral column of horses walking on a treadmill. *Am J Vet Res*, 61, S. 399-406.



Farber, M.,Schamhardt, H.,van Weeren, R. und Barneveld, A. (2001): Methodology and validity of assessing kinematics of the thoracolumbar vertebral column in horses on the basis of skin-fixated markers. *Am J Vet Res*, 62, S. 301-6.

Forterre, F.,Konar, M.,Spreng, D.,Jaggy, A. und Lang, J. (2008): Influence of intervertebral disc fenestration at the herniation site in association with hemilaminectomy on recurrence in chondrodystrophic dogs with thoracolumbar disc disease: a prospective MRI study. *Vet Surg*, 37, S. 399-405.

Forterre, F. und Lang, J. (2010): [New aspects in the treatment of disc herniation in the dog]. *Schweiz Arch Tierheilkd*, 152, S. 109-13.

Foss, K.,da Costa, R. C. und Moore, S. (2013b): Three-dimensional kinematic gait analysis of Doberman Pinschers with and without cervical spondylomyelopathy. *J Vet Intern Med*, 27, S. 112-9.

Foss, K.,da Costa, R. C.,Rajala-Schultz, P. J. und Allen, M. J. (2013a): Force plate gait analysis in Doberman Pinschers with and without cervical spondylomyelopathy. *J Vet Intern Med*, 27, S. 106-11.

Frewein, J.,Wille, K.-H. und Wilkens, H. (2004): *Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere, Band I Bewegungsapparat*. Stuttgart: Parey.

Funkquist, B. (1970): Decompressive laminectomy in thoraco-lumbar disc protrusion with paraplegia in the dog. *J Small Anim Pract*, 11, S. 445-51.

Funkquist, B. (1978): Investigations of the therapeutic and prophylactic effects of disc evacuation in cases of thoraco-lumbar herniated discs in dogs. *Acta Vet Scand*, 19, S. 441-57.

Gage, E. D. (1975): Incidence of clinical disc disease in the dog. *J Am Anim Hosp Assoc*, 11, S. 135-138.

Gage, E. D. und Hoerlein, B. F. (1968): Hemilaminectomy and dorsal laminectomy for relieving compressions of the spinal cord in the dog. J Am Vet Med Assoc, 152, S. 351-9.

Galindo-Zamora, V.,Dziallas, P.,Wolf, D. C.,Kramer, S.,Abdelhadi, J.,Lucas, K.,Nolte, I. und Wefstaedt, P. (2014): Evaluation of thoracic limb loads, elbow movement, and morphology in dogs before and after arthroscopic management of unilateral medial coronoid process disease. Vet Surg, 43, S. 819-28.

Gertzbein, S. D.,Holtby, R.,Tile, M.,Kapasouri, A.,Chan, K. W. und Cruickshank, B. (1984): Determination of a locus of instantaneous centers of rotation of the lumbar disc by moire fringes. A new technique. Spine (Phila Pa 1976), 9, S. 409-13.

Ghosh, P.,Bushell, G. R.,Taylor, T. F. und Akeson, W. H. (1977a): Collagens, elastin and noncollagenous protein of the intervertebral disk. Clin Orthop Relat Res, S. 124-32.

Ghosh, P.,Taylor, T. K. und Braund, K. G. (1977b): The variation of the glycosaminoglycans of the canine intervertebral disc with ageing. I. Chondrodystrophoid breed. Gerontology, 23, S. 87-98.

Ghosh, P.,Taylor, T. K.,Braund, K. G. und Larsen, L. H. (1976a): The collagenous and non-collagenous protein of the canine intervertebral disc and their variation with age, spinal level and breed. Gerontology, 22, S. 124-34.

Ghosh, P.,Taylor, T. K.,Braund, K. G. und Larsen, L. H. (1976b): A comparative chemical and histochemical study of the chondrodystrophoid and nonchondrodystrophoid canine intervertebral disc. Vet Pathol, 13, S. 414-27.

Gillette, R. L. und Angle, T. C. (2008): Recent developments in canine locomotor analysis: a review. Vet J, 178, S. 165-76.

Goggin, J. E., Li, A. S. und Franti, C. E. (1970): Canine intervertebral disk disease: characterization by age, sex, breed, and anatomic site of involvement. Am J Vet Res, 31, S. 1687-92.

Gough, A. und Thomas, A. (2009): Rasseprädispositionen bei Hund und Katze. München: Elsevier, Urban & Fischer.

Gradner, G., Bockstahler, B., Peham, C., Henninger, W. und Podbregar, I. (2007): Kinematic study of back movement in clinically sound malinois dogs with consideration of the effect of radiographic changes in the lumbosacral junction. Vet Surg, 36, S. 472-81.

Haab, Matthias (2009): Das Skelett. Aus dem Internet:  
<http://www.dachshundklub.de/dwh/der-rassestandard/illustrationen-aktuell>

Stand: 20.06.2016.

Hansen, H. J. (1951): A pathologic-anatomical interpretation of disc degeneration in dogs. Acta Orthop Scand, 20, S. 280-93.

Hansen, H. J. (1952): A pathologic-anatomical study on disc degeneration in dog, with special reference to the so-called enchondrosis intervertebralis. Acta Orthop Scand Suppl, 11, S. 1-117.

Hatze, H. (1974): Letter: The meaning of the term "biomechanics". J Biomech, 7, S. 189-90.

Haussler, K. K., Bertram, J. E., Gellman, K. und Hermanson, J. W. (2001): Segmental in vivo vertebral kinematics at the walk, trot and canter: a preliminary study. Equine Vet J Suppl, S. 160-4.

Hayashi, A. M., Matera, J. M. und Fonseca Pinto, A. C. (2007): Evaluation of electroacupuncture treatment for thoracolumbar intervertebral disk disease in dogs. J Am Vet Med Assoc, 231, S. 913-8.

Hill, T. P., Lubbe, A. M. und Guthrie, A. J. (2000): Lumbar spine stability following hemilaminectomy, pediculectomy and fenestration. *Vet Comp Orthop Traumatol*, 13, S. 165-71.

Hoerlein, B. F. (1953): Intervertebral disc protrusions in the dog. I. Incidence and pathological lesions. *Am J Vet Res*, 14, S. 260-9.

Hoerlein, B. F. (1978a): *Canine neurology. Diagnosis and treatment*. 3rd ed. Philadelphia: WB Saunders, S. 470-650.

Hoerlein, B. F. (1978b): The status of various intervertebral disc surgeries for the dog. *J Am Anim Hosp Assoc*, 14, S. 563-570.

Holmberg, D. L., Palmer, N. C., VanPelt, D. und Willan, A. R. (1990): A comparison of manual and power-assisted thoracolumbar disc fenestration in dogs. *Vet Surg*, 19, S. 323-7.

Hottinger, H. A., DeCamp, C. E., Olivier, N. B., Hauptman, J. G. und Soutas-Little, R. W. (1996): Noninvasive kinematic analysis of the walk in healthy large-breed dogs. *Am J Vet Res*, 57, S. 381-8.

Hutton, W. C., Freeman, M. A. und Swanson, S. A. (1969): The forces exerted by the pads of the walking dog. *J Small Anim Pract*, 10, S. 71-7.

Ingram, E. A., Kale, D. C. und Balfour, R. J. (2013): Hemilaminectomy for thoracolumbar Hansen Type I intervertebral disk disease in ambulatory dogs with or without neurologic deficits: 39 cases (2008-2010). *Vet Surg*, 42, S. 924-31.

Inoue, H. (1981): Three-dimensional architecture of lumbar intervertebral discs. *Spine (Phila Pa 1976)*, 6, S. 139-46.

Jensen, V. F. und Arnbjerg, J. (2001): Development of intervertebral disk calcification in the dachshund: a prospective longitudinal radiographic study. *J*

Am Anim Hosp Assoc, 37, S. 274-82.

Jensen V. F., Beck S, Christensen KA, Arnbjerg J. (2008): Quantification of the association between intervertebral disk calcification and disk herniation in Dachshunds. J Am Vet Med Assoc, 233, S. 1090-5.

Jensen, V. F. und Christensen, K. A. (2000): Inheritance of disc calcification in the dachshund. J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med, 47, S. 331-40.

Jensen, V. F. und Ersboll, A. K. (2000): Mechanical factors affecting the occurrence of intervertebral disc calcification in the dachshund--a population study. J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med, 47, S. 283-96.

Kim, S. Y., Kim, J. Y., Hayashi, K. und Kapatkin, A. S. (2011): Skin movement during the kinematic analysis of the canine pelvic limb. Vet Comp Orthop Traumatol, 24, S. 326-32.

Klauser, M., Forterre, F., Doherr, M., Zurbriggen, A., Spreng, D. und Forterre, S. (2012): Evaluation of apoptotic cell death in normal and chondrodystrophic canine intervertebral discs. Veterinary Science Development, 2, S. 20-24.

Knecht, C. D. (1972): Results of surgical treatment for thoracolumbar disc protrusion. J Small Anim Pract, 13, S. 449-53.

König, H.E. und Liebich, H.G. (2014): Anatomie der Haussäugetiere. Schattauer Verlag.

Kranenburg, H. J., Grinwis, G. C., Bergknut, N., Gahrman, N., Voorhout, G., Hazewinkel, H. A. und Meij, B. P. (2013): Intervertebral disc disease in dogs - part 2: comparison of clinical, magnetic resonance imaging, and histological findings in 74 surgically treated dogs. Vet J, 195, S. 164-71.

Lappalainen, A., Norrgård, M., Alm, K., Snellman, M. und Laitinen, O. (2001):

Calcification of the intervertebral discs and curvature of the radius and ulna: a radiographic survey of Finnish miniature dachshunds. *Acta Vet Scand*, 42, S. 229-36.

Layer, A. (2012): Ganganalytische Untersuchung der Rückenbewegung gesunder Hunde der Rassen Dackel und Labrador Retriever. Diss. vet. med., München.

Leach, D. (1993): Recommended terminology for researchers in locomotion and biomechanics of quadrupedal animals. *Acta Anat (Basel)*, 146, S. 130-6.

Levine, J. M., Levine, G. J., Johnson, S. I., Kerwin, S. C., Hettlich, B. F. und Fosgate, G. T. (2007): Evaluation of the success of medical management for presumptive thoracolumbar intervertebral disk herniation in dogs. *Vet Surg*, 36, S. 482-91.

Levine JM, Levine GJ, Kerwin SC, Hettlich BF, Fosgate GT (2006): Association between various physical factors and acute thoracolumbar intervertebral disk extrusion or protrusion in Dachshunds. *J Am Vet Med Assoc*, 229, S. 370-5.

Licka, T. F., Peham, C. und Zohmann, E. (2001): Treadmill study of the range of back movement at the walk in horses without back pain. *Am J Vet Res*, 62, S. 1173-9.

Marchand, F. und Ahmed, A. M. (1990): Investigation of the laminate structure of lumbar disc anulus fibrosus. *Spine (Phila Pa 1976)*, 15, S. 402-10.

Marsolais, G. S., McLean, S., Derrick, T. und Conzemius, M. G. (2003): Kinematic analysis of the hind limb during swimming and walking in healthy dogs and dogs with surgically corrected cranial cruciate ligament rupture. *J Am Vet Med Assoc*, 222, S. 739-43.

McKee, W. M. (1992): A comparison of hemilaminectomy (with concomitant disc fenestration) and dorsal laminectomy for the treatment of thoracolumbar disc

protrusion in dogs. Vet Rec, 130, S. 296-300.

McLaughlin, R. M. (2001): Kinetic and kinematic gait analysis in dogs. Vet Clin North Am Small Anim Pract, 31, S. 193-201.

Meij, B. P., Suwankong, N., Van der Veen, A. J. und Hazewinkel, H. A. (2007): Biomechanical flexion-extension forces in normal canine lumbosacral cadaver specimens before and after dorsal laminectomy-discectomy and pedicle screw-rod fixation. Vet Surg, 36, S. 742-51.

Miqueleto, N. S., Rahal, S. C., Agostinho, F. S., Siqueira, E. G., Araujo, F. A. und El-Warrak, A. O. (2013): Kinematic analysis in healthy and hip-dysplastic German Shepherd dogs. Vet J, 195, S. 210-5.

Mogensen, M. S., Karlskov-Mortensen, P., Proschowsky, H. F., Lingaas, F., Lappalainen, A., Lohi, H., Jensen, V. F. und Fredholm, M. (2011): Genome-wide association study in Dachshund: identification of a major locus affecting intervertebral disc calcification. J Hered, 102 Suppl 1, S. S81-6.

Moissonnier, P., Meheust, P. und Carozzo, C. (2004): Thoracolumbar lateral corpectomy for treatment of chronic disk herniation: technique description and use in 15 dogs. Vet Surg, 33, S. 620-8.

Morelius, M., Bergadano, A., Spreng, D., Schawalder, P., Doherr, M. und Forterre, F. (2007): Influence of surgical approach on the efficacy of the intervertebral disk fenestration: a cadaveric study. J Small Anim Pract, 48, S. 87-92.

Muir, P., Johnson, K. A., Manley, P. A. und Dueland, R. T. (1995): Comparison of hemilaminectomy and dorsal laminectomy for thoracolumbar intervertebral disc extrusion in dachshunds. J Small Anim Pract, 36, S. 360-7.

Mussmann, K. (2009): Ellbogengelenkdysplasie des Hundes: Studie zur bildgebenden Diagnostik und postoperativen Erfolgskontrolle mittels

computerisierter Ganganalyse.

Off, W. und Matis, U. (1997a): [Gait analysis in dogs. 2: Installation of a gait analysis laboratory and locomotion studies]. Tierarztl Prax, 25, S. 303-11.

Off, W. und Matis, U. (1997b): [Gait analysis in dogs]. Tierarztl Prax, 25, S. 8-14.

Olby, N., Harris, T., Burr, J., Munana, K., Sharp, N. und Keene, B. (2004): Recovery of pelvic limb function in dogs following acute intervertebral disc herniations. J Neurotrauma, 21, S. 49-59.

Olby, N., Levine, J., Harris, T., Munana, K., Skeen, T. und Sharp, N. (2003): Long-term functional outcome of dogs with severe injuries of the thoracolumbar spinal cord: 87 cases (1996-2001). J Am Vet Med Assoc, 222, S. 762-9.

Olsson, S. E. (1951): On disc protrusion in dog (enchondrosis intervertebralis); a study with special reference to roentgen diagnosis and to the value of disc fenestration. Acta Orthop Scand Suppl, 8, S. 1-95.

Panjabi, M. M. und White, A. A., 3rd (1980): Basic biomechanics of the spine. Neurosurgery, 7, S. 76-93.

Poy, N. S., DeCamp, C. E., Bennett, R. L. und Hauptman, J. G. (2000): Additional kinematic variables to describe differences in the trot between clinically normal dogs and dogs with hip dysplasia. Am J Vet Res, 61, S. 974-8.

Puustjarvi, K., Lammi, M., Kiviranta, I., Helminen, H. J. und Tammi, M. (1993): Proteoglycan synthesis in canine intervertebral discs after long-distance running training. J Orthop Res, 11, S. 738-46.

Raith, A. (2010): Das ganganalytische Profil des Deutschen Schäferhundes - Eine Reevaluierung. Dissertation LMU München.



Roach, W. J., Thomas, M., Weh, J. M., Bleedorn, J. und Wells, K. (2012): Residual herniated disc material following hemilaminectomy in chondrodystrophic dogs with thoracolumbar intervertebral disc disease. *Vet Comp Orthop Traumatol*, 25, S. 109-15.

Robert, C., Audigie, F., Valette, J. P., Pourcelot, P. und Denoix, J. M. (2001): Effects of treadmill speed on the mechanics of the back in the trotting saddlehorse. *Equine Vet J Suppl*, S. 154-9.

Robinson, R. O., Herzog, W. und Nigg, B. M. (1987): Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *J Manipulative Physiol Ther*, 10, S. 172-6.

Roy, W. E. (1971): Examination of the canine locomotor system. *Vet Clin North Am*, 1, S. 53-70.

Rumph, P. F., Lander, J. E., Kincaid, S. A., Baird, D. K., Kammermann, J. R. und Visco, D. M. (1994): Ground reaction force profiles from force platform gait analyses of clinically normal mesomorphic dogs at the trot. *Am J Vet Res*, 55, S. 756-61.

Schilling, N. und Carrier, D. R. (2009): Function of the epaxial muscles during trotting. *J Exp Biol*, 212, S. 1053-63.

Schilling, N. und Carrier, D. R. (2010): Function of the epaxial muscles in walking, trotting and galloping dogs: implications for the evolution of epaxial muscle function in tetrapods. *J Exp Biol*, 213, S. 1490-502.

Seiferle, E. und Frewein, J. (2004): *Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere, Band I Bewegungsapparat*. Stuttgart: Parey.

Senckenberg, C. (2016): Die Auswirkungen der subklinischen Ellbogendysplasie auf das Gangbild des Labrador Retrievers. Dissertation LMU München.

Sharp, NJH. und Wheeler, SJ. (2005): Small animal disorders. Edinburgh, Scotland, Elsevier, S. 121-159.

Simpson, S. T. (1992): Intervertebral disc disease. Vet Clin North Am Small Anim Pract, 22, S. 889-97.

Slijper, EJ. (1946): Comparative biologic-anatomical investigations on the vertebral column and spinal musculature of mammals. Proc K Ned Akad Wet Verh (Tweed Sectie), 47, S. 1-128.

Smith, G. K. und Walter, M. C. (1988): Spinal decompressive procedures and dorsal compartment injuries: comparative biomechanical study in canine cadavers. Am J Vet Res, 49, S. 266-73.

Smolders, L. A., Bergknut, N., Grinwis, G. C., Hagman, R., Lagerstedt, A. S., Hazewinkel, H. A., Tryfonidou, M. A. und Meij, B. P. (2013): Intervertebral disc degeneration in the dog. Part 2: chondrodystrophic and non-chondrodystrophic breeds. Vet J, 195, S. 292-9.

Stigen, O. (1996): Calcification of intervertebral discs in the dachshund: a radiographic study of 115 dogs at 1 and 5 years of age. Acta Vet Scand, 37, S. 229-37.

Stigen, O. und Christensen, K. (1993): Calcification of intervertebral discs in the dachshund: an estimation of heritability. Acta Vet Scand, 34, S. 357-61.

Sukhiani, H. R., Parent, J. M., Atilola, M. A. und Holmberg, D. L. (1996): Intervertebral disk disease in dogs with signs of back pain alone: 25 cases (1986-1993). J Am Vet Med Assoc, 209, S. 1275-9.

Sutton, J. S., Garcia, T. C., Stover, S. M., Sturges, B. K., O'Donnell, M. und Kapatkin, A. S. (2016): Kinetic and kinematic gait analysis in the pelvic limbs of normal and post-hemilaminectomy Dachshunds. Vet Comp Orthop Traumatol, 29,

S. 202-8.

Suwankong, N., Meij, B. P., Van Klaveren, N. J., Van Wees, A. M., Meijer, E., Van den Brom, W. E. und Hazewinkel, H. A. (2007): Assessment of decompressive surgery in dogs with degenerative lumbosacral stenosis using force plate analysis and questionnaires. *Vet Surg*, 36, S. 423-31.

Taylor, W. R., Ehrig, R. M., Duda, G. N., Schell, H., Seebeck, P. und Heller, M. O. (2005): On the influence of soft tissue coverage in the determination of bone kinematics using skin markers. *J Orthop Res*, 23, S. 726-34.

Tobias, Karen M. und Johnston, Spencer A. (2012): *Veterinary Surgery Small Animal*. Elsevier Saunders, Volume 1.

Tondury, G. (1953): [Development of the spinal column]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 39, S. 553-69.

Townsend, H. G., Leach, D. H. und Fretz, P. B. (1983): Kinematics of the equine thoracolumbar spine. *Equine Vet J*, 15, S. 117-22.

Trotter, E. J., Brasmer, T. H. und deLahunta, A. (1975): Modified deep dorsal laminectomy in the dog. *Cornell Vet*, 65, S. 402-27.

van Klaveren, N. J., Suwankong, N., De Boer, S., van den Brom, W. E., Voorhout, G., Hazewinkel, H. A. und Meij, B. P. (2005): Force plate analysis before and after dorsal decompression for treatment of degenerative lumbosacral stenosis in dogs. *Vet Surg*, 34, S. 450-6.

Voss, K., Imhof, J., Kaestner, S. und Montavon, P. M. (2007): Force plate gait analysis at the walk and trot in dogs with low-grade hindlimb lameness. *Vet Comp Orthop Traumatol*, 20, S. 299-304.

Voss, K., Wiestner, T., Galeandro, L., Hassig, M. und Montavon, P. M. (2011):

Effect of dog breed and body conformation on vertical ground reaction forces, impulses, and stance times. *Vet Comp Orthop Traumatol*, 24, S. 106-12.

Waibl, H., Mayrhofer, E., Matis, U., Brunnberg, L. und Köstlin, R. (2005): *Atlas der Röntgenanatomie des Hundes*. Stuttgart: Parey.

White, A. A. und Panjabi, M. M. (1978): *Clinical biomechanics of the spine*. Philadelphia: JB Lippincott, S. 1-17.

## XI. ANHANG

### Untersuchungsprotokoll

Patienten-Nr.: \_\_\_\_\_

Datum: \_\_\_\_\_

#### 1. Allgemeine Untersuchung

Allgemeinbefinden		Temperatur	
Schleimhaut/KFZ		Lymphknoten	
Adspektion Maulhöhle		Puls	
Atemfrequenz		Palpation Abdomen	
Herzfrequenz		Gewicht	
Auskultation			

#### 2. Orthopädische Untersuchung

	unauffällig	Auffälligkeiten
Belastung im Stand		
Gangbild Schritt/Trab		
Palpation Wirbelsäule		
Vordergliedmaße links		
Vordergliedmaße rechts		
Hintergliedmaße links		
Hintergliedmaße rechts		

## 3. Neurologische Untersuchung

Parameter	links	rechts
Flexorreflex vorne		
Extensor carpi radialis Reflex		
Triceps-Reflex		
Flexorreflex hinten		
Tibialis cranialis Reflex		
Patellarsehnenreflex		
Pannikulusreflex		
Propriozeption vorne/hinten		

## 4. Radiologische Untersuchung

Halswirbelsäule zwei Ebenen	
Brustwirbelsäule zwei Ebenen	
Lendenwirbelsäule zwei Ebenen	
Schulter mit Ellbogen mediolateral links	
Schulter mit Ellbogen mediolateral rechts	
Knie mit Tarsus mediolateral links	
Knie mit Tarsus mediolateral rechts	
Becken ventrodorsal	

## 5. sonstige Daten

Widerristhöhe	
Kruppenhöhe	
Rückenlänge	

**Tab. 36: Einzelgrunddaten aller Probanden.**

Patient Nr.	Rasse	Geschlecht	Gewicht in kg	Alter bei Aufnahme in Jahren	RL in cm	WR in cm	KR in cm
<b>Gruppe 1</b>							
1	Dackel	mk	6,1	3,6	30	21	20
2	RHD	m	8,1	2,6	30	26	26
3	RHD	m	11,2	5,0	31	26	23
4	RHD	m	9,2	2,1	31	28	28
5	RHD	m	13,0	5,7	32	28	28
6	RHD	wk	9,6	2,9	30	27	27
7	RHD	w	9,4	3,3	32	28	29
8	RHD	m	9,0	6,2	28	30	28
9	RHD	w	9,8	7,0	28	27	26
10	Dackel	wk	8,3	2,7	30	27	26
11	Dackel	w	8,1	5,5	29	24	23
12	Dackel	w	9,0	3,7	31	25	25
13	Dackel	w	7,8	1,7	27	27	26
14	Dackel	m	10,0	4,8	44	28	27
15	Dackel	w	8,5	2,9	38	27	26
16	Dackel	m	10,9	2,5	44	29	31
17	Dackel	m	5,0	1,4	35	24	23
18	Dackel	w	8,2	3,9	38	26	25

19	Dackel	w	9,9	4,8	37	27	26
20	Dackel	wk	10,0	8,2	41	29	28
21	ZD	w	6,8	3,1	31	24	23
<b>Gruppe 2</b>							
22	JRT	mk	9,0	6,1	30	30	31
23	LHD	m	10,0	7,5	27	26	26
24	Dackel	w	7,5	8,5	24	24	27
25	RHD	w	9,8	9,9	31	24	26
26	Dackel	w	10,1	10,5	32	23	24
27	Dackel	w	10,6	5,4	27	25	27
28	RHD	mk	6,4	9,2	22	24	24
29	ZD	wk	7,0	8,7	22	24	26
30	Dackel	w	4,0	10,9	24	22	23
31	Dackel	m	8,5	8,6	31	25	27
32	ZD	wk	5,5	11,6	23	23	24
33	Dackel	m	6,2	8,1	29	22	22
34	Beagle	w	16,7	5,5	39	42	42
35	Dackel	w	8,6	4,5	31	26	30
36	Dackel	m	8,8	8,6	28	27	28
37	Havanese	w	4,5	6,3	21	24	26
38	Dackel	mk	8,5	8,1	38	26	27
39	Zwergdackel	mk	5,7	4,2	26	21	23
40	Dackel	w	9,0	6,7	31	26	25



**Tab. 37: Operationsdaten Gruppe 2 (alle mittels Hemilaminektomie versorgt).**

Patient Nr.	Operationsstelle	Lateralisation der Hemilaminektomie	Radiologische Befunde	Zuordnung Untergruppe
22	Th 12/13	rechts	Spondylosen	2 a)
23	Th 12/13, Th 13/L1	rechts	Enchondrosis intervertebralis	2 b)
24	Th 13/L1	links	Enchondrosis intervertebralis, Spondylosen	2 b)
25	Th 13/L1	rechts	Enchondrosis intervertebralis, Spondylosen	2 b)
26	Th 12/13	rechts	Enchondrosis intervertebralis	2 a)
27	Th 11/12	rechts	Enchondrosis intervertebralis, Spondylosen	2 a)
28	Th 13/L1	rechts	Enchondrosis intervertebralis	2 b)
29	Th 12/13, Th 13/L1	rechts und links	Spondylosen	2 b)
30	Th 13/L1, L 1/2	rechts		2 b)
31	Th 12/13, L 6/7	rechts	Enchondrosis intervertebralis, Spondylosen	Ausschluss
32	L 1/2	links	Spondylosen, Überzähliger Lendenwirbel	2 c)
33	Th 13/L1	rechts	Enchondrosis intervertebralis, Überzähliger Lendenwirbel	2 b)
34	Th 11/12, Th 12/13	rechts	Enchondrosis intervertebralis	2 a)

35	Th 13/L1	links	Enchondrosis intervertebralis	2 b)
36	L 2/3, L 3/4	rechts		2 c)
37	L 1/2	links		2 c)
38	L 1/2	rechts	Enchondrosis intervertebralis	2 c)
39	Th 12/13	links	Enchondrosis intervertebralis	2 a)
40	Th 12/13	links	Enchondrosis intervertebralis	2 a)

**Tab. 38: Kinetische Grunddaten aller Probanden, die im Trab untersucht wurden (Angabe der Mittelwerte der Vorder- bzw. Hintergliedmaßen): SD, PVF, VI.**

Patient Nr.	SD vorne	SD hinten	PVF vorne	PVF hinten	VI vorne	VI hinten
1	51,5	54,0	77,1	61,1	12,6	10,6
2	62,3	36,3	97,1	53,4	22,1	5,1
3	54,8	52,3	94,9	55,1	15,9	9,6
4	54,5	44,5	112	54,1	17,8	7,0
5	66,5	51,0	87,7	63,5	20,3	8,3
6	58,5	58,3	79,1	59,7	14,6	10,5
7	53,0	40,8	96,0	59,3	16,0	6,3
8	54,5	53,8	76,4	39,5	13,0	7,1
9	58,5	50,5	79,3	63,3	14,8	8,8
10	52,8	43,3	94,3	64,6	15,1	8,0
11	55,0	47,3	105,4	63,6	17,1	8,2
12	49,4	45,5	104,0	56,7		6,9

13	51,8	51,3	63,3	48,8	9,7	6,8
14	64,5	56,5	75,5	58,6	18,7	12,2
15	53,5	52,0	89,2	61,5	14,1	8,8
16	56,8	40,5	106,5	62,6	18,5	5,8
17	60,8	52,5	68,2	43,5	17,3	7,7
18	54,0	50,3	97,5	60,3	16,0	8,9
19	59,8	49,0	95,4	56,2	19,4	7,8
20	60,3	60,3	54,2	45,2	13,0	10,0
21	51,5	51,3	72,7	66,8	11,1	10,6
22	49,5	58,0	85,5	70,2	16,9	9,9
24	50,5	46,3	87,4	62,3	13,1	8,0
26	61,5	49,8	91,9	52,3	19,8	7,7
27	60,3	56,8	94,6	59,4	18,4	8,8
28	64,8	59,5	70,7	50,3	19,3	10,3
29	60,3	56,8	71,9	41,4	16,6	9,5
30	65,6	54,0	97,4	61,6	24,8	10,2
32	59,8	47,8	106,4	53,2	20,4	6,9
33	54,0	49,0	110,2	42,6	17,0	5,2
34	59,3	46,0	101,7	55,3	19,6	6,8
35	56,0	49,0	100,2	58,6	16,9	7,3
36	59,5	46,0	111,0	43,3	21,9	5,0
37	55,3	49,5	99,2	51,7	17,1	7,2
39	53,8	47,8	96,1	62,6	13,6	8,1
40	62,0	49,5	82,9	44,2	18,3	6,9

**Tab. 39: Kinetische Grunddaten aller Probanden, die im Trab untersucht wurden (Angabe der Mittelwerte der Vorder- bzw. Hintergliedmaßen): prozentuale Gewichtsverteilung (FD), SI PVF, SI VI; gelb markiert sind die Hunde, die eine Lahmheit zeigten.**

Patient Nr.	FD PVF vorne	FD PVF hinten	FD VI vorne	FD VI hinten	SI PVF vorne	SI PVF hinten	SI VI vorne	SI VI hinten
1	55,8	44,2	54,2	45,8	2,5	1,8	1,1	6,7
2	64,5	35,5	81,2	18,8	3,3	0,4	2,3	8,2
3	63,3	36,5	62,3	37,7	1,9	2,0	1,4	4,5
4	67,4	32,6	71,8	28,2	7,0	4,4	7,4	3,1
5	58,0	42,0	71,0	29,0	3,1	0,5	0,9	8,5
6	57,0	43,0	58,1	41,9	2,5	2,2	2,1	6,5
7	61,8	38,2	71,9	28,1	2,2	3,9	5,9	3,3
8	65,9	34,1	64,7	35,3	3,5	2,0	7,9	1,0
9	55,6	44,4	62,6	37,4	0,6	1,7	6,8	6,1
10	59,4	40,6	65,2	34,8	3,3	5,7	6,9	0,5
11	62,4	37,6	67,6	32,4	0,4	2,0	2,1	3,1
12	64,7	35,3			4,1	3,5		4,5
13	56,5	43,5	58,8	41,2	2,5	3,7	6,7	7,2
14	56,3	43,7	60,6	39,4	1,5	4,3	1,0	3,5
15	59,2	40,8	61,6	38,4	1,3	5,7	1,7	8,5
16	63,0	37,0	76,2	23,8	6,6	0,8	2,9	8,2
17	61,1	38,9	69,3	30,7	4,5	3,9	9,0	5,0
18	61,8	38,2	64,3	35,7	1,4	3,6	2,8	4,7
19	62,9	37,1	71,4	28,6	4,0	2,5	8,6	2,8
20	54,5	45,5	56,5	43,5	8,3	8,8	8,1	4,8
21	52,1	47,9	51,0	49,0	0,7	4,2	2,1	8,4
22	54,9	45,1	62,9	37,1	8,7	5,6	8,0	9,8

24	58,4	41,6	62,1	37,9	7,3	6,4	3,3	21,3
26	63,8	36,2	72,0	28,0	4,1	4,0	2,8	3,5
27	61,4	38,6	67,6	32,4	4,1	2,4	5,4	8,5
28	58,5	41,5	65,2	34,8	9,3	2,2	1,2	3,8
29	63,5	36,5	63,5	36,5	2,5	4,1	2,6	2,4
30	61,3	38,7	70,9	29,1	8,6	0,2	1,4	9,7
32	66,7	33,3	74,6	25,4	3,5	6,2	3,9	7,7
33	72,1	27,9	76,5	23,5	9,0	4,5	2,3	10,0
34	64,8	35,2	74,2	25,8	2,3	0,5	5,2	4,4
35	63,1	36,9	69,8	30,2	4,8	2,0	6,8	0,2
36	71,9	28,1	81,5	18,5	2,3	20,3	7,0	37,3
37	65,7	34,3	70,5	29,5	1,7	0,2	0,3	8,3
39	60,6	39,4	62,5	37,5	0,0	4,6	8,0	2,5
40	65,2	38,4	72,7	27,3	0,6	7,2	2,5	0,3

**Tab. 40: Kinetische Grunddaten aller Probanden, die nur im Schritt auf dem Laufband gingen (Angabe der Mittelwerte der Vorder- bzw. Hintergliedmaßen).**

Patiente Nr.	SD vorne	SD hinten	PVF vorne	PVF hinten	VI vorne	VI hinten	FD PVF vorne	FD PVF hinten	FD VI vorne	FD VI hinten	SI PVF vorne	SI PVF hinten	SI VI vorne	SI VI hinten
23		65,3		52,0		13,5						6,5		6,3
25	70,5	64,3	54,5	35,2	18,5	10,9	60,8	39,2	63,0	37,0	1,1	17,0	21,7	10,6
31	72,5	66,3	66,6	33,8	22,6	10,7	66,3	33,7	68,0	32,0	3,2	5,9	6,3	17,9
38	71,5	66,0	74,8	41,3	23,8	10,2	64,4	35,6	70,1	29,9	3,6	3,2	1,8	1,4

**Tab. 41: Berechnung von Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum der kinetischen Parameter unter Ausschluss der drei lahmen Patienten im Trab.**

Parameter	SD vorne	SD hinten	PVF vorne	PVF hinten	VI vorne	VI hinten	SI PVF vorne	SI PVF hinten	SI VI vorne	SI VI hinten
Mittelwert	58,1	50,5	94,8	54,4	18,3	7,9	4,2	3,5	4,1	5,6
Standardabweichung	4,4	3,7	10,6	8,7	2,8	1,5	3,1	2,4	2,5	3,8
Minimum	49,5	46,0	71,9	41,4	13,6	5,2	0	0,2	0,3	0,2
Maximum	65,5	58,0	110,2	70,2	24,8	10,3	8,9	7,2	8,0	1,0

**Tab. 42: Kinetische Parameter Unterteilung Gruppe 2 in betroffene und kontralaterale Gliedmaße.**

Patient Nr.	SD betroffene Gldm.	SD kontralat. Gldm.	VI betroffene Gldm.	VI kontralat. Gldm.	PVF betroffene Gldm.	PVF kontralat. Gldm.
22	58,0	58,0	9,5	10,4	68,2	72,1
24	44,0	48,5	7,1	8,8	64,3	64,3
26	50,0	49,5	7,6	7,8	51,2	53,3
27	49,0	51,5	8,4	9,2	58,7	60,1
28	58,5	60,5	10,1	10,5	49,7	50,8
30	53,5	54,5	9,7	10,7	61,6	61,5
32	49,0	46,5	7,2	7,2	54,8	54,8
33	49,0	49,0	5,5	5,0	41,6	43,5
34	45,5	46,5	6,9	6,9	55,4	55,4
35	46,5	49,5	7,3	7,3	59,2	59,2
36	45,5	45,5	5,9	4,0	47,7	38,9
37	49,5	49,5	7,4	7,4	51,6	51,6
39	48,0	47,5	8,2	8,2	64,0	64,9
40	50,0	49,0	6,9	6,9	42,6	42,6



**Tab. 43: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Transversalebene der neun Wirbelsäulenmarker Gruppe 2 a) im Schritt und Trab in % der Rückenlänge.**

<b>Schritt (n = 6)</b>									
Marker	BWScr	BWSm	BWSca	WS	LWScr	LWSm	LWScs	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>7,2</b>	<b>10,4</b>	<b>12,7</b>	<b>13,2</b>	<b>12,5</b>	<b>10,4</b>	<b>7,5</b>	<b>7,4</b>	<b>9,9</b>
±	3,8	3,7	4,5	4,3	3,6	3,1	3,2	1,5	3,2
Min	0,6	4,3	6,6	8,5	8,9	6,4	3,8	5,7	5,0
Max	12,1	15,2	18,2	19,2	18,1	15,8	12,1	9,9	14,5
p-Wert Vgl. mit Gruppe 1	0,999	0,988	0,893	0,997	1,000	0,999	0,998	0,606	0,418
<b>Trab (n = 6)</b>									
Marker	BWScr	BWSm	BWSca	WS	LWScr	LWSm	LWScs	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>4,9</b>	<b>6,4</b>	<b>7,6</b>	<b>7,2</b>	<b>6,7</b>	<b>6,3</b>	<b>6,8</b>	<b>9,3</b>	<b>12,8</b>
±	3,1	3,7	4,4	3,8	3,5	3,9	3,9	2,9	3,3
Min	0,7	2,5	3,2	4,1	3,2	1,9	2,2	6,2	8,1
Max	9,8	12,6	14,6	13,5	11,4	12,7	13,9	14,6	16,4
p-Wert Vgl. mit Gruppe 1	0,997	1,000	0,994	0,997	0,979	0,909	0,374	0,225	0,585

**Tab. 44: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Transversalebene der neun Wirbelsäulenmarker Gruppe 2 b) im Schritt und Trab in % der Rückenlänge.**

<b>Schritt (n = 8)</b>									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>10,6</b>	<b>13,1</b>	<b>14,6</b>	<b>15,7</b>	<b>15,6</b>	<b>14,4</b>	<b>12,3</b>	<b>11,6</b>	<b>11,7</b>
±	3,8	5,1	5,2	5,4	5,6	6,0	6,9	6,8	5,6
Min	5,8	8,3	8,0	8,4	7,9	6,9	4,6	2,8	4,2
Max	17,9	22,4	23,8	24,7	23,9	23,7	23,5	23,7	21,4
p-Wert Vgl. mit Gruppe 1	0,064	0,174	0,222	0,313	0,251	0,084	0,012	0,002	0,035
<b>Trab (n = 6)</b>									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>8,0</b>	<b>9,8</b>	<b>10,8</b>	<b>11,3</b>	<b>11,3</b>	<b>11,1</b>	<b>10,6</b>	<b>10,2</b>	<b>11,0</b>
±	5,0	5,1	4,5	5,4	6,4	6,4	6,0	6,7	6,1
Min	2,4	2,2	5,6	6,0	4,3	4,3	6,6	4,0	3,4
Max	15,5	15,5	17,0	20,1	21,9	22,3	22,2	22,3	19,6
p-Wert Vgl. mit Gruppe 1	0,101	0,133	0,509	0,041	0,018	0,005	0,001	0,086	0,993

**Tab. 45: Mittlerer Bewegungsumfang (ROM) in der Transversalebene der neun Wirbelsäulenmarker Gruppe 2 c) im Schritt und Trab in % der Rückenlänge.**

<b>Schritt (n = 4)</b>									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>9,8</b>	<b>12,3</b>	<b>12,8</b>	<b>12,9</b>	<b>13,0</b>	<b>12,4</b>	<b>10,7</b>	<b>8,4</b>	<b>6,4</b>
±	6,4	6,2	5,3	4,4	4,4	4,2	4,3	3,3	2,7
Min	1,6	3,9	5,8	7,6	8,9	8,5	6,0	4,9	2,7
Max	17,2	18,6	18,2	16,7	18,2	17,5	16,1	12,8	8,8
p-Wert Vgl. mit Gruppe 1	0,390	0,590	0,916	1,000	0,997	0,768	0,298	0,375	0,946
<b>Trab (n = 3)</b>									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>6,8</b>	<b>9,2</b>	<b>8,3</b>	<b>8,0</b>	<b>7,5</b>	<b>6,1</b>	<b>4,7</b>	<b>4,5</b>	<b>7,4</b>
±	3,8	2,9	2,7	2,4	2,0	0,2	0,3	2,0	1,5
Min	2,8	5,9	5,2	5,3	5,8	5,9	4,4	3,1	6,0
Max	10,3	11,3	10,2	10,1	9,7	6,3	4,9	6,7	9,0
p-Wert Vgl. mit Gruppe 1	0,624	0,504	0,946	0,950	0,906	0,979	1,000	0,875	0,564

**Tab. 46: Mittlerer Bewegungsumfang in der Sagittalebene der neun Wirbelsäulenmarker Gruppe 2 a) im Schritt und Trab in % der Rückenlänge.**

<b>Schritt (n = 6)</b>									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>2,5</b>	<b>2,9</b>	<b>3,0</b>	<b>3,2</b>	<b>2,7</b>	<b>2,9</b>	<b>3,6</b>	<b>4,4</b>	<b>5,7</b>
±	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,3	1,6	2,7	3,8
Min	0,6	1,4	1,3	0,9	0,8	1,2	2,5	2,0	2,3
Max	4,2	5,4	5,3	4,6	4,3	4,2	6,7	9,5	12,6
p-Wert Vgl. mit Gruppe 1	0,947	0,404	0,367	0,496	0,997	1,000	0,961	0,866	0,733
<b>Trab (n = 6)</b>									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>3,5</b>	<b>4,1</b>	<b>5,8</b>	<b>6,9</b>	<b>7,0</b>	<b>6,7</b>	<b>6,1</b>	<b>5,4</b>	<b>5,2</b>
±	2,2	1,7	3,1	3,4	3,7	3,5	3,3	2,9	2,0
Min	1,3	2,3	3,8	4,1	4,1	4,0	3,1	2,3	2,5
Max	6,4	7,2	12,1	13,6	14,2	13,6	12,3	10,8	8,3
p-Wert Vgl. mit Gruppe 1	1,000	0,715	1,000	0,972	0,985	0,992	0,996	0,948	0,994

**Tab. 47: Mittlerer Bewegungsumfang in der Sagittalebene der neun Wirbelsäulenmarker Gruppe 2 b) im Schritt und Trab in % der Rückenlänge.**

<b>Schritt (n = 8)</b>									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>3,2</b>	<b>3,0</b>	<b>3,1</b>	<b>33,4</b>	<b>3,7</b>	<b>4,0</b>	<b>4,3</b>	<b>5,3</b>	<b>6,8</b>
±	1,0	1,4	1,5	1,5	1,9	1,8	2,1	3,3	4,6
Min	1,9	0,9	1,0	1,6	1,6	1,7	1,3	1,2	0,8
Max	4,7	4,8	5,1	5,6	6,9	7,0	6,8	10,3	15,2
p-Wert Vgl. mit Gruppe 1	0,101	0,219	0,209	0,202	0,211	0,161	0,233	0,225	0,158
<b>Trab (n = 6)</b>									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>5,3</b>	<b>5,6</b>	<b>6,1</b>	<b>6,7</b>	<b>7,2</b>	<b>7,3</b>	<b>7,6</b>	<b>8,3</b>	<b>9,7</b>
±	1,9	2,0	2,3	2,6	2,6	2,9	3,3	3,2	3,6
Min	2,7	2,7	2,7	3,1	3,9	4,5	5,2	5,3	5,6
Max	7,6	7,9	9,3	11,0	11,8	12,6	13,9	14,4	16,1
p-Wert Vgl. mit Gruppe 1	0,086	0,724	0,986	0,996	0,955	0,802	0,317	0,012	0,000

**Tab. 48: Mittlerer Bewegungsumfang in der Sagittalebene der neun Wirbelsäulenmarker Gruppe 2 c) im Schritt und Trab in % der Rückenlänge.**

<b>Schritt (n = 4)</b>									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>2,6</b>	<b>3,4</b>	<b>3,8</b>	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>	<b>3,4</b>	<b>3,1</b>	<b>3,2</b>	<b>3,9</b>
±	0,8	1,5	1,6	1,7	1,9	1,7	1,5	0,8	1,2
Min	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3	1,1	1,1	2,4	2,3
Max	3,7	5,2	5,3	5,7	5,7	5,3	4,8	4,1	4,9
p-Wert Vgl. mit Gruppe 1	0,906	0,129	0,059	0,116	0,286	0,877	0,995	0,945	0,973
<b>Trab (n = 3)</b>									
Marker	BWScr	BWSme	BWScau	WS	LWScr	LWSme	LWScau	Sacrum	SWS1
<b>MW</b>	<b>4,6</b>	<b>6,0</b>	<b>6,8</b>	<b>7,3</b>	<b>7,7</b>	<b>7,5</b>	<b>7,3</b>	<b>6,9</b>	<b>7,7</b>
±	1,6	2,5	2,6	2,7	2,2	1,4	1,4	1,5	2,7
Min	3,2	3,8	4,3	4,8	5,8	6,1	5,6	5,2	5,3
Max	6,3	8,7	9,5	10,1	10,1	8,9	8,2	7,9	10,6
p-Wert Vgl. mit Gruppe 1	0,689	0,670	0,827	0,925	0,874	0,836	0,685	0,433	0,149

## **XII. DANKSAGUNG**

Danksagen möchte ich an erster Stelle meiner Doktormutter Frau Prof. Dr. med. vet. Andrea Meyer-Lindenberg für das Überlassen dieses interessanten Themas, sowie für die Bereitstellung des Ganganalyselabors und des Patientenguts der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München.

Herzlichst bedanken möchte ich mich auch bei der Leiterin des Ganganalyselabors der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik Dr. Stephanie Steigmeier-Raith. Ohne Ihren Erfahrungsschatz und Ihren Einsatz wäre diese Arbeit nicht entstanden.

Danken möchte ich auch der Radiologischen Abteilung der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik für die Hilfe bei der Anfertigung und Auswertung der Röntgenbilder.

Dank gilt auch Herrn Priv.-Dozent Dr. S. Reese für die Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten.

Großer Dank gilt auch den Besitzern aller Studienpatienten, die mit Ihren Tieren bereitwillig den Weg in die Chirurgische und Gynäkologische Kleintierklinik auf sich nahmen, um an dieser Studie teilzunehmen.

Meiner Familie und meinen Freunden – insbesondere Lisa-Marie Müllerleile - danke ich für die Geduld und den Beistand während der Anfertigung dieser Arbeit.

Ebenfalls danken möchte ich Dr. Anna Layer und den restlichen Kollegen im Ganganalyselabor für die Hilfe bei der Anfertigung der Laufbandaufnahmen.